

## Uránusz, az ismeretlen bolygó II.

### Űrszondás vizsgálatok

A Voyager-ikrek közül elsőként a Voyager-2 indult, 1977. augusztus 20-án. Az indításkor még csak halvány remény mutatkozott a Neptunusz meglátogatására. A Voyager-1 túl közel repült el a Szaturnusz Titán holdja mellett, ami kilendítette a szondát a Naprendszer síkjából, így csak a Voyager-2 folytathatta a nagy utazást a két külső gázbolygó felé. Az is szóba jött, hogy üstökös-randevúra is sor kerülhet, de nem fedeztek fel megfelelő pályán mozgó kométát. A Szaturnusz gyűrűjén való áthaladáskor az űrszonda néhány műszere, így a kutatóplatform meghibásodott, nem forgott a tervezett ütemben. Később ugyan sikerült kiküszöbölni a hibát (magát a szondát forgatták a platformhoz képest), de a gyorsmozgatási üzemmódot nem használták Uránusz-közelben.

A Voyager-2 feladatai az alábbiak voltak:

*Rádiófedési mérések:* A bolygó mögött elhaladva a szonda rádiójelének gyengüléséből a légkör mélységi összetételének meghatározása.

*Infravörös mérések:* A műszer ún. melegebb pontok után kutatott a légkörben.

*Magnetométeres mérések:* Magnetométer és rádióantenna vizsgálta a mágneses teret, a sarki fényt.

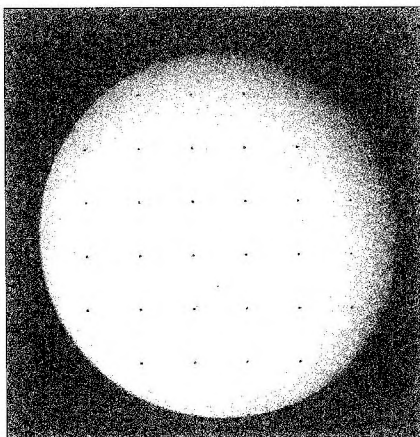
*Kamerák:* Feltérképezték a bolygó légköri képződményeit, az esetleges felhősávokat, örvényeket vagy foltokat. Megállapították a bolygó tengelyforgási idejét.

*A gyűrűrendszer finomszerkezetének tanulmányozása:* A Voyager-2 megfigyelte az Algol és a  $\sigma$  Sagittarii fedéseit.

*Holdak felderítése:* A holdakról a tervezett 0,6–12 km felbontású képek alapján a felszíni alakzatok megörökítése, a holdak anyagának megállapítása.

**Az Uránusz légköre.** 1985 utolsó hónapjaiban a bolygó korongja egyre nőtt a nagyfelbontású kamera látómezőjében, mégis ugyanolyan homályos maradt, mint addig. A gond az volt, hogy a korong fényességváltozásait kizárólag a beeső napfény változásai határozták meg: a valódi légköri képződményeket egyszerűen „elmosta” a vakító napfény. Ez azért veszélyeztette a mérési programot, mert így a bolygófényképezést nem tudták volna megfelelően beütemezni a feladatok közé.

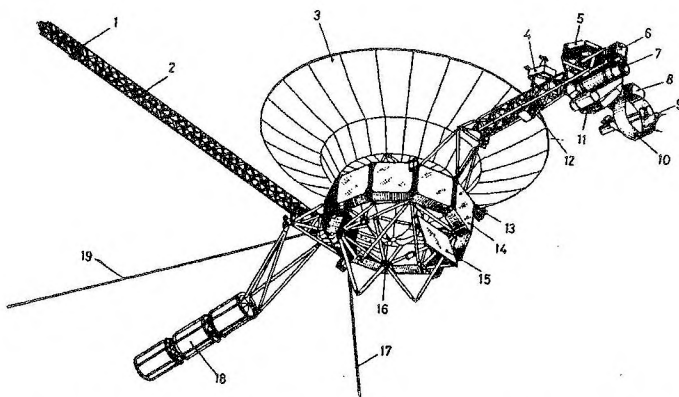
Szerencsére a JPL munkatársai (Avis, Brown és Johnson) kidolgoztak egy matematikai eljárást, amellyel a probléma megoldhatóvá vált. Modellleztek egy Uránusz távolságában lévő részletmentes bolygót. Az Uránusz fényességváltozásaiából kivonták a modell értékeit, a kapott képet erősen feljavították,



Az első képek egyike az Uránusztól 10 millió km távolságban készült. Látható, mennyire részletmentes a felhőzet

intenzitásait erősítették. Így kutathatóvá vált a „kékeszöld bolygó”. A kapott képeken több, forgási pólussal koncentrikus sáv jelent meg, köztük kisebb képződmények voltak, melyek állandó bolygórajzi szélességen köröztek. Az alakzatok körüljárási periódusa 14 és 17 óra között változott. A sávok és a kelet-nyugati szelek nagyon hasonlítottak a Vénuszon, a Jupiteren és a Szaturnuszon lévőkhöz. Ez azért érdekes, mert a Nap szinte pontosan a déli pólus felett tartózkodott, északon már húsz éve volt sötétség. Így bebizonyosodott, hogy bár a Nap szolgáltatja a légáramlást hajtó energiát, a légközés mintázatát a bolygó tengelyforgása határozza meg. Az Uránusz keringési ideje 84 földi év. Most a déli pólus iránya a Nap felé néz, de mivel tengelye egy adott csillag felé mutat, van, amikor a gyűrűt látjuk élről, és az egyenlítő kapja a legtöbb napfényt és van, amikor az északi pólus. (Egy jelenlegi elgondolás szerint a tengelyek nem stacionáriusak évmilliárdos időskálán vizsgálva. Az Uránusz tengelyferdeségének egyik okát sokan egy nagy becsapódásban látják. A pontos okokat azonban nem ismerjük.)

Bár azt várhatnánk, hogy a megvilágított oldalon melegebb van, az infravörös érzékelő adatait elemző kutatók más következtetést vontak le: a Voyager-2 az északi, a déli sarkoknál, valamint az egyenlítőnél 64 kelvines hőmérsékletet mért, míg a közepes szélességeken pár fokkal kevesebbet. Bár a korábbi elméleti modellek a két pólus között maximum csak két fokos különbséget engedtek volna meg, az egyenlítő hőmérsékletét nem sikerült megmagyarázni.

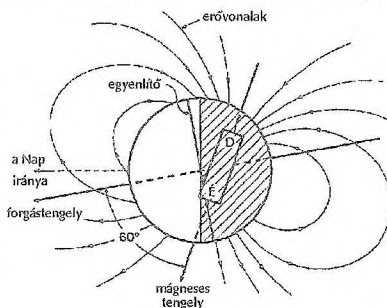


A Voyager-1 és -2 szerkezete: 1: magnetométerek, 2: kinyúló árboc, 3: nagy érzékenységű parabolaantenna, 4: kozmikusugárzás-mérő, 5: plazmamérő, 6: nagy látószögű kamera, 7: kis látószögű kamera, 8: tv-elektronika, 9: UV-spektrométer, 10: infravörös interferométer, 11: fotopolariméter, 12: alacsony energiájú töltött részecskék érzékelője, 13: stabilizáló fúvócsövek, 14: elektronikus egységek, 15: műszerkalibráló lemez, 16: hajtóanyagtartály, 17, 19: planetáris rádiócsillagászati és plazmahullám-érzékelő antenna, 18: radioizotópos termoelektromos generátor (3 db)

A bolygó mágneses tere. Ha az Uránusznak nem lenne mágneses tere, akkor a Voyager-2 csupán a bolygó által a napszél áramlásában keltett némi zavart tudta

volna kimutatni. Ha nem lenne mágneses tere, nem lehetett volna a bolygó belső forgási sebességét megállapítani. Mivel a bolygónak nincsen jól elkülöníthető szilárd „felszíne”, a légkörkutatók számára a bolygó belsejében keltett mágneses tér szolgáltatta az egyetlen rögzített (azaz forgó) viszonyítási rendszert, amelyhez a légköri mozgások mérhetők. Lassan elérkezett a Voyager-2 oda, ahol már észlelni kellett volna a teret... de az űreszköz semmit sem detektált. Így teltek percek, órák, napok... Miközben a szonda 14,6 km/s-os sebességgel közeledett a rendszer középpontja felé.

Mindössze öt nappal a legnagyobb közelség előtt a Voyager-2 végre az Uránuszól eredő rádiójeleket és töltött-részecske-áramlásokat észlelt. A rádiósugárzásnak a többi bolygóhoz hasonlóan a mágneses tér erővonalai mentén csavarvonalú mozgást végző töltött részecskéktől kellett származnia. Az űrszonda a lökéshullámfrontot (a napszél és mágneses tér egyensúlyánál) 1986. január 24-én, csupán 10 órával a legnagyobb közelség előtt keresztezte. Norman F. Ness vezetésével a magneto-



Az Uránusz mágneses tere a Voyager-2 mérései alapján

méteres alcsoport nekiláthatott a mágneses tér feltérképezésének, ami igen összetettnek bizonyult. A forgástengellyel bezárt szög tetemes, 60 fokkal. Ám ami talán még meglepőbb, hogy a mért értékeket csak úgy lehetett megmagyarázni, hogy a dipólus tengelye a bolygósugár 30%-ával eltolódott a középponttól.

Mindennek mi az oka? Egyszerű a válasz: fogalmunk sincs. Sajnos, ha egy jelenségre több, nem teljesen cáfolható elmélet születik, akkor önmagában egyik magyarázat sem szokott tökéletes lenni. Egyébként a legvalószínűbb magyarázat szerint a bolygó mágneses tere épp most vált polaritását. Más elképzelések szerint a bolygók mágneses tengelyei nem olyan stabilak, mint korábban gondoltuk. Erre mutathatnak pl. a Mars-történeti vizsgálatok is. Ilyen lényeges következtetések levonására azonban a Voyager-2 eredményei önmagukban nem adnak alapot.

Az Uránusz körül a földi van Allen-övekhez hasonló sugárzási öveket is találtak. A mérések szerint azokban 500 keV-os protonok 1–10 millió ion/cm<sup>2</sup>/s erősséggel bombázzák az anyagot, ami 100–10 000 év alatt elvörösödik, majd elsötétül, attól függően, hogy mennyire gazdag szénhidrogénben. Ilyen felületeket pedig nem volt nehéz találni: a holdak és a gyűrűrendszer voltak ezek. Végre kiderült, miért olyan sötét a gyűrűrendszer, miért vannak sötét foltok a holdak egy részén. A holdak és a gyűrűk ugyanis mintegy „összesöprik” a nagyenergiájú részecskéket, így felületükön a metánjég egy kis része a becsapódó protonok hatására lebomlik, átalakul sötét színű, komplex hidrokarbon vegyületekké.

A mágneses térerősség ingadozásából és a rádiósugárzásból sikerült megállapítani a bolygó forgási periódusát. A szakemberek számításai szerint ez 17,24 óra. (A magasabb bolygórajzi szélességeken a felhők körülfordulási periódusa elérheti a 14 órát, az alacsonyabbakon ennél hosszabb lehet.)

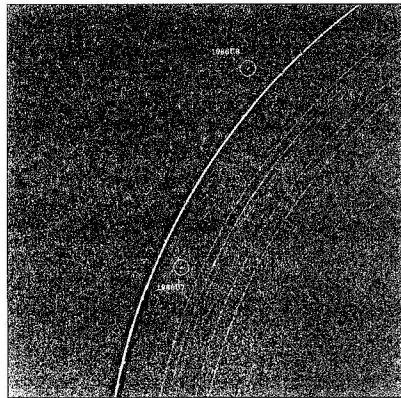
**Az Uránusz szerkezete.** A bolygó belső szerkezetéről adatok hiányában nincsenek részletes modelljeink. Kétféle elképzelés is elterjedt, de még ma sem egyértelmű, melyik állja meg inkább a helyét. Az egyik az ún. háromrétegű modell, melyben a megolvadt jegek egy folyékony „óceánt” alkotnak a kőzetmag és a gáznemű hidrogén-hélium légkör között. A kétrétegű modellben a gázok és fagyott anyagok egy sűrű légkörre keverednek. Az elgondolások szerint az Uránuszon látható felszíni lég-  
rétegek közelében az ammónia, az ammónium-hidroszulfid ( $\text{NH}_4\text{HS}$ ) és a víz jeges felhőzetté csapódik ki. A Voyager-2 elhaladását megelőzően a háromrétegű modell, azt követően a kétrétegű modell, a Neptunusz-méréseket és az újabb fizikai elméleteket figyelembe véve pedig ismét a háromrétegű modell vált „valószínűbbé”. Ám hogy melyik a teljesen biztos, ma még nem egyértelmű.

**Régi ismerős: a bolygó gyűrűrendszere.** A jelenlegi elképzelések szerint egy bolygó körüli gyűrűrendszer nem állandó képződmény. Becslések szerint a Szaturnusz gyűrűjének például még hozzávetőleg 100 ezer évre van elegendő utánpótlása. Sőt, korábban a Földnek és a Vénusznak is lehetett gyűrűrendszere. A Galileo űrszonda mérései szerint a Jupiter gyűrűjének jelenlegi táplálója a Metis, Adrastea, Amalthea, Thebe és kis mértékben talán az Io lehet. A leginkább azonban az Amaltheára, az egykori „ötödik Galileiholdra” jellemző ez. Számítások szerint ugyanis egy becsapódó test a hold anyagából saját tömegének tízszeresét robbantja ki. Így a hold tömege gyorsuló ütemben csökkent az évmilliók során. Az Uránusz esetében ugyan nem tudjuk, pontosan melyik hold felelős leginkább a gyűrű anyagának utánpótlásáért (valamelyik belső hold lehet), de az biztos, ma már a gyűrű anyagát fogyasztó van.

A bolygó gyűrűi sötétek, albedójuk 0,05 alatti. Ezzel a Naprendszer legsötétebb égitestei közé tartoznak. (Sötét tónusuk okáról már volt szó a magnetoszféra tárgyalásakor.) Az Uránusz gyűrűrendszere vékony, egymástól jól elkülöníthető, viszonylag távoli ívekből áll, amik akár méteres nagyságrendű alkotókat is tartalmazhatnak. A Voyager-2 ellenfényben készült felvételei nyomán azonban hamar világossá vált, hogy itt is megtalálhatók a kisebb elemek. Ellenfényben a gyűrű egységes, a réseket (akár a Cassini-rést) kisebb összetevők, mikrométeres darabok töltik ki.

A Voyager-2 gyűrűrendszerrel kapcsolatos felfedezései közé tartozott, hogy az  $\epsilon$  és a  $\delta$  között felfedezett egy újabb gyűrűt (1986 U1R, később  $\lambda$ ); a 6-os gyűrűn belül pedig egy aszimmetrikus elhelyezkedésű sávot (1986 U2R) is kimutatott az űreszköz.

**Az Uránusz belső kisholdjai.** 1985 előtt az Uránusznak öt holdját ismertük, ezek belülről kifelé a Miranda, az Ariel, Umbriel, Titania és az Oberon. 1985-ben és 1986-ban a Voyager-2-nek hála összesen 10, esetleg 11 holddal bővült az ismert kísérők száma. A 11. Voyager-holdat csak 1999-ben találták meg egy archív felvételen. Azóta az IAU még nem hagyta jóvá a felfedezést.



A Cordelia (1986 U7) és az Ophelia (1986 U8) terelőholdak az  $\epsilon$  gyűrű két oldalán

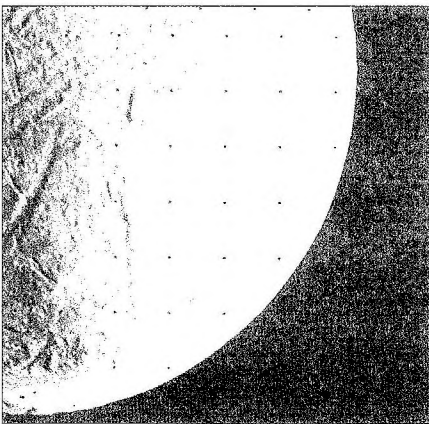
A holdak négy fő típusát különböztethetjük meg: a *belső kisholdakat* (ezek a gyűrűt alakítják, általában szabálytalan alakúak, anyaguk folyamatosan a gyűrű anyagává alakul át), a *reguláris holdakat* (mint a Jupiter Galilei-holdjai, vagy az Uránusz esetében az öt hold, azaz amik valószínűleg együtt keletkeztek a bolygóval), a *kaptált holdakat* (a később befogott, igen szabálytalan alakú és szabálytalan pályán keringőket), valamint a *Lagrange-féle holdakat* (ezek a holdak és/vagy a bolygó Lagrange-pontjában mozoghatnak, ilyenek a Föld-Hold-rendszer Kordylewski-féle porholdjai, illetve pl. a Jupiter-Tethys-rendszerben a Telesto és a Calypso). Az Uránusz esetében eddigi ismereteink alapján az első három csoportra találunk példát. Összességében elmondható, hogy a holdakban a teljes rendszer össztömegének 0,012%-a összpontosul. A szakemberek az Uránusz holdrendszerénél is találtak egyfajta Titius-Bodeszabályt, de itt a konstans 1,46-nak adódott. A holdak Shakespeare drámáiból, illetve Alexander Pope Füstablás című szatirikus eposzából kapták neveiket.

A jelenleg ismert 10 (11) belső kisholdat mind a Voyager-2 fedezte fel. Ezek belülről kifelé haladva: Cordelia, Ophelia, Bianca, Cressida, Desdemona, Juliet, Portia, Rosalind, Belinda, 1986 U10 (létezése még kérdéses), Puck. Az első, Voyager-2 által felfedezett Uránusz-hold a Puck volt, ezt még távolról, 1985-ben fényképezte le, míg az utolsó az 1986 U10, amit 1999-ben sikerült fellelnie Erich Karkoschkának, aki a Hubble Űrteleszkóp felvételeit alapul véve nézte át a korábbi Voyager-fotókat. Azt tapasztalta, hogy a Voyager egyik Uránusz-képén oldalt látható egy hold, amely végül is az 1986 U10 ideiglenes megjelölést kapta. A Cordelia és az Ophelia az Uránusz  $\epsilon$  gyűrűjének két oldalán helyezkednek el, ebben hasonlítanak a Szaturnusz F gyűrűjét terelő két holdra, a Prometheusra és a Pandorára. Nem véletlen tehát (de talán nemcsak a holdak miatt), hogy pont az  $\epsilon$  gyűrű a legelnyúltabb az Uránusz rendszerében.

A gyűrű és a holdak korát vizsgálva arra jutunk, hogy a belső kisholdak szerepet játszhattak a gyűrű anyagának utánpótlásában. Ennek azonban némileg ellentmond a holdak sötét felszíne, ami idős(ebb) korra utalhat. Ebből talán arra lehet következtetni, hogy az utánpótlás jelenleg nem megoldott. (Legalábbis a belső kisholdak ezt a feladatukat már nem tudják ellátni.) Ahogy haladunk kifelé, elmegyünk a Bianca, Cressida, Desdemona és a Juliet mellett, észre vesszük, hogy a belső kisholdak már meglehetősen távol vannak a gyűrűktől. Ez a holdak színében is megmutatkozik: kifelé haladva egyre világosabbak az égitestek. Ez kiváltképp igaz, ha tovább haladunk: Portia, Rosalind, Belinda, 1986 U10 és Puck. A Belindáról és a Puckról már egy fokkal jobb felbontású felvétel is készült. A Puckon a kráterezett felszín is kivehető.

Az öt reguláris hold. Bár elviekben a reguláris hold inkább a keletkezésre, a forrásra és a keringésre utal, mégis, a méretet is megkülönböztető tényezőnek véve (így a belső kisholdak külön csoportosíthatók) öt, ún. reguláris holdját ismerjük a bolygónak. Ilyen reguláris hold a Jupiter esetében pl. a négy Galilei-féle hold, melyek nagy valószínűséggel a Jupiterrel együtt keletkezhettek; illetve a Föld holdja is, mely – ma úgy tűnik – egy hatalmas becsapódás során vált ki a Földből. Talán az Uránusz öt nagy holdja is a bolygóval együtt keletkezhetett. Erre utal keringési irányuk és pályasíkjuk, mely az Uránusz egyenlítői síkjával hozzávetőleg megegyezik. A reguláris holdak planetológiai szempontból igen érdekesek, hiszen ezekről a Voyager-2 jóvoltából már tényleges közelképek állnak rendelkezésünkre. Az öt holdon (Miranda, Ariel, Umbriel, Titania, Oberon) kívüli befogott, kaptált holdakat csak a kilencvenes évek második felétől fedték fel.

A 480 km átmérőjű Miranda a legkisebb az öt hold közül. Ez a hold van a legközelebb a bolygóhoz, és emiatt (az árapály-erők fűtő hatása által) a Miranda felszíne a legváltozatosabb. Olyannyira igaz ez, hogy az űrszondás látogatást közvetlenül követő években sokan úgy gondolták, a hold korábban egy becsapódás hatására felrobbanhatott, majd újra összeállt. Ma már tudjuk, hogy erről szó sincs, csupán a rendkívüli geológiai aktivitás játszott a szakemberek képzeletével. A kerek falú kráterekkel borított felszínt éles vetődések szabdalják, bizonyosságául annak, hogy a becsapódás-sorozat, mint „kozmosz eróziót”, erős belső aktivitás követte. A Ganymedes sötét régióihoz hasonló (csak jégborítás nélküli) felszíni képződményeket a Mirandán koronáknak nevezzük. Ezekből a Voyager-2 hármat is lencsevégre kapott: az Arden, az Inverness és az Elisnore Coronát. A Miranda aktivitásában szerepe lehet, hogy a holdpálya inklinációja eléri a 4 fokot (ez pedig megnöveli az árapály-erőket).



A 1160 km átmérőjű Ariel 130 ezer km-ről fényképezve

A Miranda felszínformáinak egyik típusát a *rátolódásos vetők* képezik. A rátolódásos vetők iskolapéldája a Merkúr lehetne, amely a kiszáradás, azaz a mag kontrakciójának nyomait hordja magán. Ezek a formák a bolygó folyamatos kihűlésével alakulnak ki, önmagukban nem jelentik a geológiai aktivitás bizonyítékait. A holdon *lokális árok-gerinc rendszert* is találunk; a Miranda ún. ovoidjai vélhetően a nagy blokkok felemelkedése, illetve lesüllyedése miatt jöhettek létre. A köpenyáramlás másik bizonyítéka a *kéregdarabok kiemelkedése*. Mivel az Uránusz rendszerében a reguláris holdak közel kör alakú pályán keringenek, ezért az *árapályfűtést* itt nem a pálya-excentricitás, hanem a pályarezonancia okozza. Jelenleg ugyan emiatt nincs fűtés, de 3,8 milliárd évvel

ezelőtt jelentős hatása lehetett. Az űrszondás vizsgálatokat megelőzően nem várták, hogy az Uránusz esetében is ekkora jelentősége lehetett az árapályfűtésnek. A Miranda felszínén (főleg a koronák szélein) *szilikát-vulkanizmushoz* hasonló formákat láthatunk. Ennek oka a nagy mennyiségű, kívülről a holdra került ún. exotikus jég lehet. A koronák szélein találunk *folyásfrontokat* is, ezek úgy jöhetnek létre, hogy a holdon fellelhető metil-alkohol megnöveli a víz-ammónia keverék viszkozitását.

Az Ariel esetében a becsapódásos kráterekkel borított idősebb felszínt vetődések, hosszú árkok és völgyek alkotta repedésrendszer osztja részekre. Ezek a vetődések akkor alakulhattak ki, amikor a hold kérge a jegesedés során kitágult. Az Arielen is jellemző a pályarezonancia miatti *árapályfűtés*, melynek hatására a hőmérsékletkülönbség a 20 fokot is elérhette; később a hold kaotikusan kimenekült a rezonanciából. Az Arielen a (Mirandával ellentétben) jég tölti be a láva szerepét, mely gleccsersként folyik a lejtős területeken. A második reguláris holdon *sugaras, halós kráterekkel* is találkozunk. A részint vízjégből álló hold belsejének teljes megfagyására utal egy *tágulás okozta globális repedésvölgy* is, hiszen a hold hűlése a kéreg repedéséhez vezetett. Az



Arielen és az Umbrielen is látunk globális köpenycirkuláció miatt létrejövő *globális redpédrendszer-hálózatot*. A két holdnál ez a hálózat óriási polygonális egységeket választ le. Így az Arielen és az Umbrielen bizonyos szempontból a Ganymedeséhez hasonló polygonok jöttek létre.

A legsötétebb reguláris hold az Umbriel, mely a beeső fénynek csupán 19%-át veri vissza. Ennek az lehet az oka, hogy a felszínét sötét por és később ráhullott törmelék borítja, ami talán a hold pályáját kísérő porfelhőből származhat. Az Umbriel keringése során tehát egyfajta „takarító” szerepét tölti be. A felszíne nagyon ősi, nincsenek fényes, sugaras kráterek. A hold legérdekesebb alakzata az északi sarkon található Wunda nevű képződmény. Pontosabban az a *fénylő gyűrű*, amely a Wunda nevű kráter alján található. Sajnos nem tudjuk, a déli pólusnál hasonló alakzat található-e. A holdon a Hold tengereihez hasonlóan kialakult *felszíni elöntéseket* is találni, de az Umbriel igazi különlegessége, hogy *plazmaforrásként* viselkedik. Méri eredmények igazolják, hogy a holdon áthaladó mágneses erővonalak távolságában több az ion és az elektron. A vegyértékhejük elektronjait elvesztő ionokból és elektronokból álló gáz a plazma halmazállapotot veszi fel. Az Umbriel az egyetlen ismert hold a Naprendszerben, mely plazmával tölti fel bolygója mágneses terét (bár részben hasonló jelenséget a Tritonnál is kimutattak).

A Titania felszínét 10–50 km átmérőjű kráterek tarkítják. Nagyon feltűnő vetődésrendszerrel bír, mely az egész holdat körbefoghatja. Egy-egy vetődés mélysége eléri a 20–50 km-t, szélességük 2–5 km közötti, hosszúságuk akár 1500 km is lehet. A nagyobb kráterek kis számából arra lehet következtetni, hogy az első nagy bombázási periódusban még a *felszín-újraképződés* volt a jellemző.

Az Oberon a Titániával ellentétben bővelkedik nagyobb kráterekben, ami arra utal, hogy kisebb lehetett rajta a geológiai tevékenység, kisebb árapály-erők hatottak rá. Ez érthető, hiszen az Uránusztól távolabb kering. A Hamlet és az Othello nevű kráterek sugaras szerkezetükkel hívják fel magukra a figyelmet. Az Oberon legfeltűnőbb felszíni formációja mégis a 20 km magas Macbeth nevű hegység, melyre oldalról, a hold peremére tekintve lehet rálátni. Valószínűleg egy *régi becsapódási kráter* központi csúcsáról van szó.

## Eredmények a Voyager-2 óta

Az Uránusz Voyager-2 utáni kutatásának két nagy nyertese volt: a bolygó és a holdrendszer. A bolygón felhőket, a holdrendszerben befogott holdakat sikerült felfedezni.

Az Uránusz felhői. A Voyager-2 képei szerint az Uránusz „unalmas” égitest. Ebből többen nem törődtek bele. 1993-ban a Chicagói és az Arizonai Egyetem munkatársai a Soktükörű Távcsővel (MMT – Multiple Mirror Telescope), 0,5 ívmásodperces, infravörös tartománybeli felbontás mellett egy sötét foltot (35 fokos déli szélességen), egy fényes régiót és egy vékony, szabálytalan sávot fotóztak le. A kutatók azonnal elkezdték vizsgálni: miért nem látta mindezt 1986-ban a Voyager-2? Vagy nem érzékelték a foltokat, vagy azok nem is voltak akkor az Uránuszon. A bolygó speciális helyzete (97,86 fokos dőlésszög, 84 éves keringési periódus...) az utóbbit valószínűsíti. Azonban természetesen tüzetesebb vizsgálatokra van szükség.

A Hubble Űrteleszkóp 1993-as szervizelését követően, 1994 augusztusában az űrtávcső már az Uránuszt kutatta. A Hubble-nek a Voyager-2 által felfedezett 10 Uránusz-holdból ötöt sikerült lencsevégre kapnia! Emellett számos felhőszerű képződ-

menyit is lefotózott. A felhők átmérője 3100 és 4300 km közötti, segítségükkel újra meghatározták a bolygó 17,9 órás tengelyforgási idejét.

**Újabb holdak az Uránusz körül.** Az új holdak nagy részét földi távcsövekkel fedezték fel. A Voyager-ikrek utazását követően sokáig úgy tűnt, a földi hold-felfedezések ideje egy időre leállt. Ezért az Uránusz első két kaptált (befogott) holdjának felfedezése nemcsak az Uránusz-kutatásnak, hanem a Naprendszer további holdjai fűrkészésének is újabb lendületet adott.

Brett Gladman társaival (P. Nicholson, J. Burns és J. Kavelaars) a palomar-hegyi ötméteres távcsőre szerelt COSMIC kamerával 1997. szeptember 6-án és 7-én hat darab, egyenként 6 perc expozíciós idejű CCD-felvételt készített az Uránusz-rendszerrel. Elmondásuk szerint kifejezetten befogott holdakat kerestek, hiszen ez a bolygó volt az egyetlen, ami körül még nem fedeztek fel ilyen objektumokat. Egy hónappal később Gladman találta meg a két új holdat (S/1997 U1 és S/1997 U2), melyek a *Caliban* és a *Sycorax* neveket kapták. A számítások szerint pályáik inklinációja 140, illetve 153 fok, ami más pályaelemeiket is figyelembe véve befogásra utalt. Valószínűleg a Kuiper-övből származó, Kentaur típusú aszteroidák két képviselőjéről van szó. Később a holdakat Gladmanék néhány 1984-es CFHT-felvételen is megtalálták.

Megkezdődött az Uránusz újrafelfedezése. A csillagászok egy része a távcsövekkel dolgozott, mások az archívumok anyagait nézték át. Ez utóbbit tette Erich Karkoschka is, aki a Voyager-fotókat átnézve és azokat a HST friss képeivel összehasonlítva, 1999-ben hat Voyager-felvételen találta meg az S/1986 U10 ideiglenes jelölésű holdat. Mivel azonban az ellenőrző észlelések során nem találták meg a holdat, az IAU még nem fogadta el hivatalos Uránusz-holdnak.

Néhány hónappal később, amikor a 3,6 méteres CFHT-val további holdak után kutattak, Kavelaars és társai két újabb kísérőt azonosítottak. A 23–24 magnitúdós, kb. 20 kilométeres két hold, a *Stephano* és a *Prospero* nevet kapta. Az új holdak pályaelemeinek pontos meghatározása, illetve a további kutatás céljából a CFHT még mindig az Uránuszot követte. Néhány héttel a két utóbbi hold felfedezését követően, a CCD-detektor újabb égitestet, az S/1999 U3 jelű, később *Setebos*nak nevezett holdat rögzítette. Kavelaars csapatából az új holdat Matthew Holman azonosította.

Majdnem két évet (2001 nyaráig) kellett várni arra, hogy Gladman és Kavelaars csapata további három holdat fedezzen fel. A holdak e sorok írásakor még nem kaptak végleges nevet, az S/2001 U1, S/2001 U2 és S/2001 U3 munkanevet adták nekik. A három új hold közül az S/2001 U1 létezése azóta megerősítést nyert (l. Csillagászati hírek c. rovatunkat).

HORVAI FERENC

## A Polaris Csillagvizsgáló programjaiból

Ifjúsági szakkör középiskolásoknak!

Ősszel újraindítottuk csillagászati szakkörünket, a 15–19 éves korosztály számára. A szakköri foglalkozásokat keddenként tartjuk, 18 órai kezdettel. A szakkör MCSE-tagok számára díjtalan. Az ifjúsági szakkört Horvai Ferenc csillagász szakos egyetemi hallgató vezeti.

1037 Budapest, Laborc u. 2/c., E-mail: polaris@mcse.hu