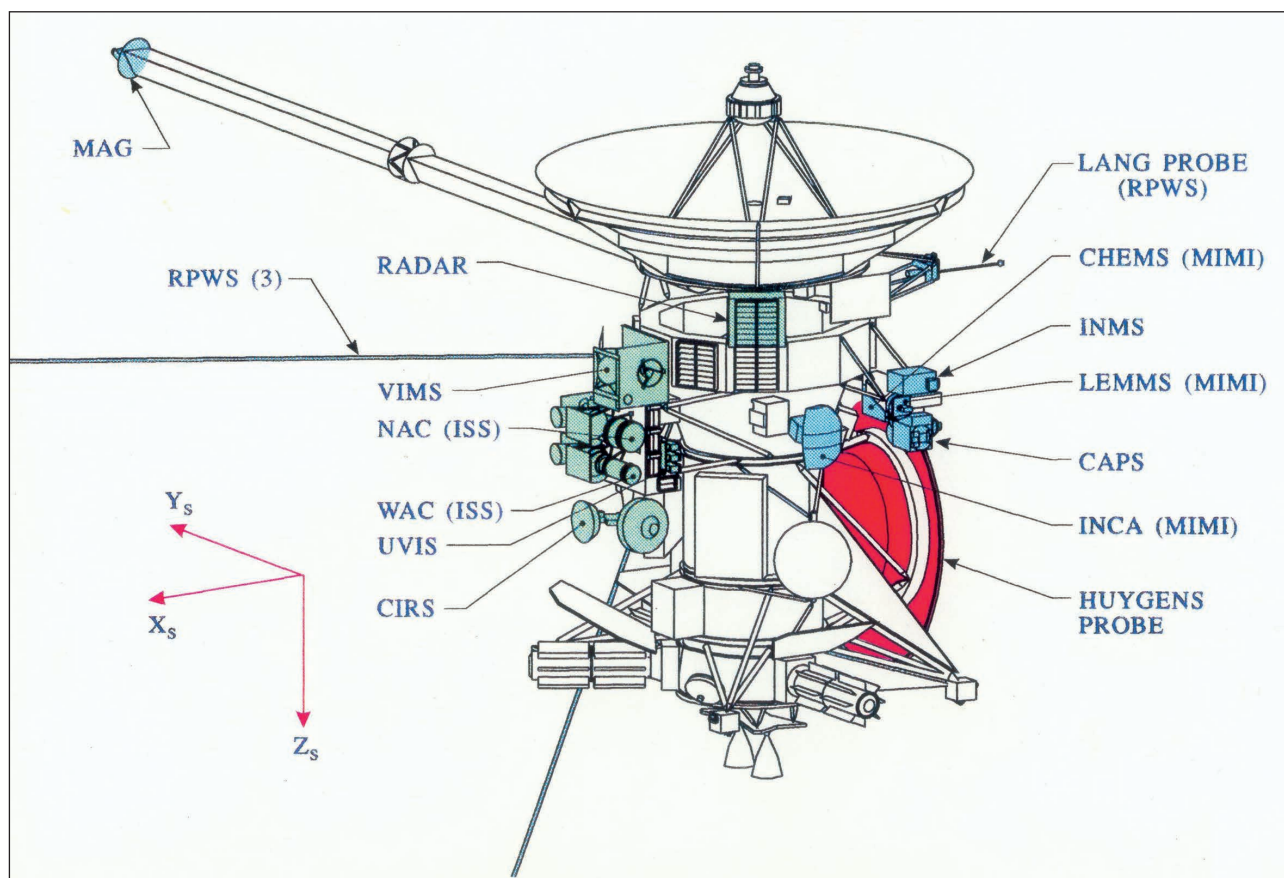


Szalai Sándor*

A Szaturnuszt kutató Cassini–Huygens űrszondapáros



1. ábra. A Cassini tudományos műszerei (Fotó: NASA)

A szabad szemmel is látható Szaturnusz a Naprendszer második legnagyobb bolygója. Már kisebb távcsővel is felismerhető, nem csupán a nagysága, hanem a látványos gyűrűrendszere alapján is. A gyűrű síkja

eltér a Szaturnusz Nap körüli keringésének síkjától, ezért látjuk az égitestet időben a keringés fázisa szerint különböző alakúnak. Christiaan Huygens holland csillagász 1659-ben jött rá, hogy ha a megfigyelések rajzait időrendbe he-

ÖSSZEFOGLALÁS: A Cassini-program a NASA egyik nagyszabású űrszonda-küldetése volt a 2000-es évek derekán, amely az európai fejlesztésű Huygens leszállóegységet is magával vitte. A vállalkozás fő célkitűzése a Szaturnusz térségének felderítése volt, valamint a leszállóegység eljuttatása a legnagyobb Szaturnusz hold, a Titán felszínére. A Cassini-programba magyar kutatók is bekapcsolódtak, az MTA Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet (jelenleg Wigner Fizikai Kutatóközpont) fejlesztői a fedélzeti magnetométer, valamint a plazma-spektrométer létrehozásában vettek részt.

KULCSSZAVAK: űrszonda, Cassini, Huygens, Szaturnusz, Titán, Enkeladusz, leszállóegység, magnetométer, plazma-spektrométer

ABSTRACT: The Cassini program was one of the largest space probe missions of NASA in the middle of the 2000s, which also comprised the Huygens landing unit developed in Europe. The main goal of the mission was to discover the region of Saturn and to deliver the landing unit to the surface of the Saturn's largest moon, Titan. Hungarian researchers also joined the Cassini program, the developers of the Institute for Particle- and Nuclear Physics of the Hungarian Academy of Sciences (presently Wigner Research Centre for Physics) participated in the creation of the on-board magnetometer and the plasma spectrometer.

KEY WORDS: space probe, Cassini, Huygens, Saturn, Titan, Enceladus, landing unit, magnetometer, plasma spectrometer

* Villamosmérnök, az MTA Műszaki Tudomány Doktora, a Wigner Fizikai Kutatóközpont professor emeritusa. Nyugállományba vonulásáig az Űrtechnikai Osztály vezetője volt. A Magyar Mérnökakadémia és a Nemzetközi Asztronautikai Akadémia rendes tagja. A Magyar Asztronautikai Társaság tiszteleti tagja. ORCID: 0000-0003-3979-084X





2. ábra. A Cassini-program logója a résztvevő országok zászlóival (Fotó: NASA)

lyezi a Szaturnusz Nap körüli harmincéves keringése szerint, a megfigyelt változó formák valójában a bolygót és a körülötte lévő gyűrű képét mutatják.

A Cassini-program a 3,3 milliárd dollár költségével a NASA egyik legrágább, és a szonda tömegét tekintve a legnagyobb tömegű programja volt. (A vállalkozás 17 ország, köztük Magyarország részvételével valósult meg.) Az európai fejlesztésű Huygens leszállóegysége 660 millió \$-ba került. A program elsődleges célja 2004 és 2008 között a Szaturnusz bolygó környezetének vizsgálata és a leszállóegység eljuttatása volt a Titán hold felszínére.

Az 5712 kg-os űrszonda 366 kg tömegű tudományos műszert, valamint a 320 kg-os Huygens leszállóegységet vitte magával. A Naptól való nagy távolság miatt energiatermelésre három radioizotópos generátort (RTG) használtak. Ez a megoldás a zöld szervezetek tiltakozását váltotta ki, mert az üzemanyagként használt 38,2 kg plutónium-238 az egészségre igencsak ártalmas. A napelemek hatásfokának javulásával a Jupiter környezetét kutató NASA új Juno szondája (2011-ben indították, jelenleg is működik) már napelem táblákkal is kellő energiát kap működéséhez. A Naprendszer külső tartományába induló szondák, a rakéták energia-korlátai miatt, a bolygók gravitációs lendítő hatásának felhasználásával, bonyolult pálya során jutnak el céljukhoz. Az 1997-ben indított Cassini kétszer (1998-ban és 1999-ben) elrepült a Vénusz, ezután a Föld (1999-ben, 1100 km-re a Föld felszíntől) majd a Jupiter mellett (2000-ben). A hét-éves bolygóközi utazás végén, 2004 júliusában az űrszondapáros 3,5 milliárd km repülés után elérte a Szaturnuszt. A Cassini szondán a tudományos célok elérésére 12 műszer volt, ezek közül két műszer fejlesztésében magyar kutatók is részt vettek.

A műszerek a Szaturnusz környezetében lévő töltött részecskék (plazma részecskék, elektronok, protonok és ionok) energiáját, töltését, ezek kölcsönhatását a bolygó és a holdak mágneses terével, valamint az atomi semleges részecskék eloszlását és tömegét mérték (CAPS, MIMI, INMS). Az ott található szilárd részecskék nagyságáról, hőmérsékletéről és összetételéről (CDA – az 1. ábra nem látható oldalán van), az infravörös tartományban működő műszerek szolgáltatottak adatokat (CIRS). A felhőket, holdak felszínét és a gyűrűket a látható fény és ultraibolya tartományban működő műszerekkel is vizsgálták (ISS, UVIS, VIMS). A magnetométer a Szaturnusz magja által keltett mágneses mezőt mérte (MAG), a rádiófrekvenciás műszer az atmoszféra elektromos jelenségeit mérte (RPWS), míg a radar (RADAR) segítségével a Titán felszínének feltérképezése valósult meg.

MAGYAR HOZZÁJÁRULÁS

A magyar szakemberek a rendszerváltás kezdetén bekapcsolódtak a Cassini műszereinek fejlesztésébe. A magyar űrkutatás számára ez a lehetőség az 1980-as évek sikeres fejlesztési eredményeinek volt köszönhető. A szovjet VEGA- és a Phobos-program kulcsszerepet játszott abban, hogy a Cassini fejlesztésébe hazánk is bekapcsolódhatott. Az MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet kutatói a fedélzeti magnetométer (MAG) és a plazma spektrométer (cassini plazma spektrométer – CAPS) létrehozásában vettek részt, a földi ellenőrző berendezések és a kalibráló rendszerek megépítésével. A NASA oklevéllel ismerte el eredményes tevékenységüket. Az RMKI egy-egy munkatársa társkutatói szinten vett részt a CAPS és a MAG kísérletben.

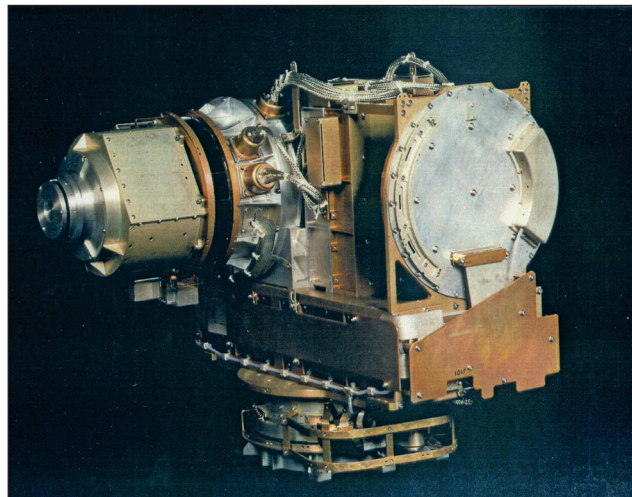


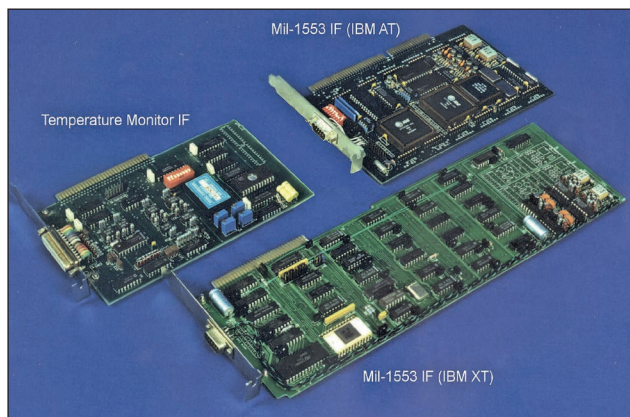
3. ábra. A cikk szerzőjének a NASA-oklevele (Fotó: Szalai Sándor)

Az űrkutatási programokban a műszerfejlesztésben való részvétel elsőbbségi hozzájárulást biztosít a mérési adatokhoz, így a magyar kutatók számára is lehetővé vált, hogy az új tudományos eredmények első publikálói között lehessenek.

A Cassini szonda adatgyűjtő és vezérlő rendszere a katonai Mil-1553 szabványszámú „buszt” használta. A magyar fejlesztőknek, ennek a repülőgépeken alkalmazott

4. ábra. A CAPS három érzékelőjét tartalmazó (iontömeg és -irány, valamint elektron-detektor) forgó platform





5. ábra. Az űrszonda vezérlő és adatgyűjtő rendszereinek szimulátorai a CAPS és MAG műszerek teszteléséhez (Fotó: Szalai Sándor)

„adatbusz”-nak a segítségével kellett a Cassini szondára kerülő CAPS és MAG műszerek vezérlését megvalósítani, és a kiadott adatfolyamokat értelmezni, megjeleníteni. Ehhez a feladathoz kereskedelmi forgalomban kapható IBM típusú személyi számítógép erőforrásait használó illesztő kártyák implementálásával szimulált űrszonda felületet valósítottunk meg.

Ezekhez a kártyákhoz megfelelő kezelő szoftvert (User Interface) is kellett készíteni, amely az adott műszer könnyű vezérlését (TC – TeleCommand) és a mérési adatok (TM – TeleMetry) megjelenítését biztosította. A CAPS és a

MAG műszer számára az általunk fejlesztett földi ellenőrző berendezés biztosította, hogy az űrszonda jelenléte nélkül a működést ellenőrizni lehetett, valamint a kalibrálásokat is támogatta. 1975-ben a MIL-1553-as volt az első olyan szabványosított „adatbusz”, amit az Amerikai Egyesült Államok Légierője rendszeresített. A katonai repülésben a franciák kivételével szinte minden repülőgép-gyártó alkalmazta, még az oroszok is rendszeresítették. Ez egy Manchester-2-es kódolású, két sodrott érpárú vezetékes „busz”, 1 Mbit/s sebességgel. Az adatátvitel 20 bites szavakban történik: 3 bit a szinkronizálásra, 16 bit a tényleges adattovábbításra és 1 bit paritás-ellenőrzésre szolgál. A jeladók és a vevők transzformátor révén csatlakoznak a buszra, így kiküszöbölődik az egyenáramú komponens a buszon, azaz egy műszerben keletkező esetleges rövidzár nincs hatással a többi műszer működésére. A buszjelek nagysága 18 – 27 V, amely megfelelő zavarmentességet biztosít. Az általunk fejlesztett illesztő egység orosz gyártmányú Manchester kódoló IC-t és buszillesztő transzformátort használt, amelyek a metrikus lábkiosztástól eltekintve, paramétereiben megfeleltek az eredeti USA szabványoknak. A fényképen két változata is látható a Mil-1553-as illesztő kártyának. A nagyobbik a '90-es évek elején még elterjedten használt IBM-XT, míg a kisebb méretű (két alaplap buszcsatlakozóval) a nagyobb számítási teljesítményű IBM-AT számítógépekben is alkalmazható volt. A harmadik kártya a szonda hőmérséklet-monitorozó rendszerét helyettesítette, amely az alacsony adatforgalma miatt, az XT busz csatlakozója ellenére az AT gépben is megfelelően működött.

6. ábra. Fantáziakép a Cassini – Huygens szétválásáról a Titán holdnál (Fotó: NASA)



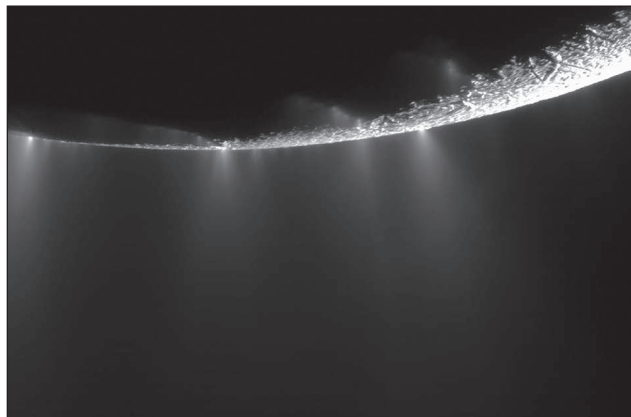
A CASSINI-PROGRAM

A kiválóan működő szonda 4 évesre tervezett működtetését két lépésben meghosszabbították. 2017 őszére a szonda pályáját vezérlő üzemanyag kifogyóban volt. A NASA el akarta kerülni, hogy a szonda irányítás nélkül véletlenül a Szaturnusz valamelyik holdjába csapódjon, és ott a Földről származó baktériumokkal, amelyek a 20 éves bolygóközi űrutazást még túléltek, megfertőzze az esetleges ottani környezetet. A szonda 120 000 km/h-s sebességgel érte el a bolygó légkörét, a sűrűlódás miatt legalább 2500°C-ra felhevült és elégett. Minden idők egyik legsikeresebb missziója fejezte be Szaturnusz körüli 13 éves működtetését 2017. szeptember 15-én. A Cassini működtetésének végére a közel 20 éves üzemeltetés és követés költsége 750 millió dollárt ért el.

A Szaturnusz 29 és fél év alatt végez egy keringést a Nap körül, forgástengelye – hasonlóan a Földéhez – pályasíkjára nem merőleges, az évszakok nagyjából nyolcévenként váltják egymást. A meghosszabbított küldetés négy szakzatra volt bontható. Az alapszakasz a pályára állástól négy évig, 2008 nyaráig tartott. A 2010. októberig tartó második szakasz, az ún. napéjegyenlőségi szakasz során a Nap közel a gyűrűrendszer síkjában világította meg a bolygót. A harmadik napfordulós szakasz 2017. májusig tartott. Ezután már csak a „nagy finálé” (The Grand Finale) következett, amikor a poláris pályára állt a Cassini és még 22-szer megkerülte a Szaturnuszt. Az utolsó szakasz megvalósítására is gravitációs lendítő hatást használtak, a Titán hold mellett 3158 km-re repült el, és ezzel sikerült a Cassini-t a Szaturnusz körüli poláris pályára állítani.

A Cassini szondáról a Huygens leszállóegységet 2014. december 25-én választották le, hogy az a Titán holdon simán leszállhasson. A Huygens hat, több funkciót ellátó műszert tartalmazott. A Titán a Naprendszer második legnagyobb holdja, nagyobb a Merkúr bolygónál is. Átlagos átmérője 5150 km nagyságú. A Titán holdat a holland Christiaan Huygens csillagász már a XVII. században felfedezte, tiszteletére kapta a leszállóegység a Huygens nevet. A csillagászok a Földdel mutatott számos hasonló tulajdonsága miatt javasolták részletesebb kutatását. Például a Naprendszerben a Földön kívül az egyetlen ismert égitest, amelyen egy anyag – ez esetben a metán – mind a három halmazállapotban jelen van. A Naprendszer holdjai közül csak a Titán és a Neptunusz körül keringő Triton rendelkezik számottevő légkörrel. A szilárd felszínű Titánt jelentős, nagyrészt nitrogénből álló légkör veszi körül. A felszínén mérhető légnyomás a földinek másfélszerese, légköre jóval

7. ábra. A Cassini fényképe az Enkeládusz hold déli pólusán lévő gejzírjeiről (Fotó: NASA)



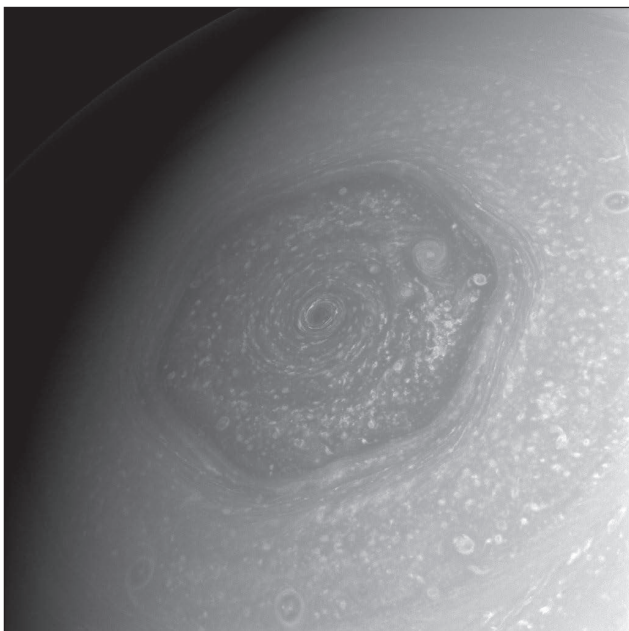
vastagabb a földiénél, mintegy 1500 km-es. A felszíni átlagos hőmérséklet $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A 2,7 méteres átmérőjű, kagyló alakú Huygens 2005. január 14-én óránkénti 22 000 km/h-s sebességgel lépett be a Titán sűrű, barnás narancssárga légkörébe. A leereszkedés két és fél órán át tartott, közben három ejtőernyő egymást követően csökkentette sebességét: előbb 180 kilométeres magasságban kinyitotta első, 2,6 méteres ejtőernyőjét, amelyet mindössze 2,5 másodpercig használt. Ez az ernyő rántotta ki a 8,3 méter átmérőjű főernyőt és leoldotta a hővédő pajzsot, a főernyőt 110 kilométeres magasságban ledobta, majd kibontotta a már a leszállást biztosító, 3 méter átmérőjű ejtőernyőjét. Az Huygens ereszkedés közben, légköri kémiai méréseket végzett, fényképeket készített és hanghatásokat rögzített. Szilárd felszínen landolt és ott még 72 percig működött. A mérési adatokat az anyaszonda vette és a leszállás után néhány órával a Cassini Föld felé fordított parabolaantennájával sugározta a Földre.

Egy szerencsés kimenetelű „hibát” érdemes megemlíteni, amely rávilágít a technikai nehézségekre és azok elhárítására. Az antennatervezők a hatások növelése érdekében igen keskenysávúra tervezték a Cassini antennáját, de megfeledeztek a szondák szétválásakor fellépő doppler hatásról. Az egymástól nagy sebességgel távolodó szondák következtében a rádiójelek frekvenciája jelentősen változott volna. Új pálya-geometriát kellett megvalósítani az utolsó pillanatokban. A Cassini 90°-os irányból vette a Huygens rádiójeleit, vele közel párhuzamosan haladva, és így a jelterjedési sebesség lényegében nem változott, azaz stabil vétel maradt. A Huygens több mint 700 felvételt készített a légköri ereszkedés közben és a felszínen.

A kutatók számtalan meglepő tényt ismerhettek meg a Titánról. Dűnék, csatornák és sivatagok árapály nyoma, magas hegyek, valamint hatalmas szénhidrogén-tavak és folyók is találhatóak a felszínen. A Titán légkörében több szerves vegyületet is találtak, köztük olyat is, amely alapja lehet az élet kifejlődésének. A Cassini és a Huygens mérései azt is felfedték, hogy 55-80 km-rel a felszín alatt, egy víz- és ammónia alapú óceán található. Korábban egyetlen idegen égitesten sem mutatták ki folyadékok jelenlétét, a Titán holdon azonban számos folyékony felületet azonosítottak, mintegy 10 méteres árapályhullám volt megfigyelhető, amelyet a Szaturnusz gravitációja kelt. A légkörében jelen lévő metán ilyen körülmények között mindhárom halmazállapotában megtalálható. Vannak metánfelhők, amelyekből metánesó vagy -hó esik, ezek metánfolyókat és tavakat táplálnak. A Földön kívül a Titán az egyetlen ismert égitest, amelyen a felhőkből hulló csapadék eléri a felszínt. A sok hasonló tulajdonság miatt jó alapot szolgál annak modellezésére, hogy az ősi Földön milyen körülmények lehettek, és mi segíthette az élet kialakulását. Az 1655-ben elsőként felfedezett Szaturnusz hold mellett a Cassini 162-szer repült el, további méréseket végezve a Titánról és környezetéről.

A gyűrűkkel és holdakkal körülvett Szaturnusz a Földtől 1,25 milliárd km-re kering a Nap körül; ez a Naprendszer hatodik bolygója, főként hidrogénből és héliumból áll. A nagy sebességű forgása miatt lapított gömb alakú, az egyenlítő és a sarki átmérő közel 10%-kal különbözik. A Naprendszer egyetlen bolygója, amelynek sűrűsége kisebb a víznél ($0,69\text{ g/cm}^3$). A Cassini segítségével újabb hét holdat sikerült felfedezni, ezek közül hat már nevet is kapott, így jelenleg 62 holdat ismerünk a bolygó körül. A Cassini 13 év alatt összesen 294-szer kerülte meg Szaturnuszt. Keringése során több mint 453 000 képet készített a Szaturnuszról és holdjairól, a különböző tudományos



8. ábra. A Cassini fényképe a Szaturnusz északi pólusán lévő rejtélyes hatszögletű viharfelhőről (Fotó: NASA)

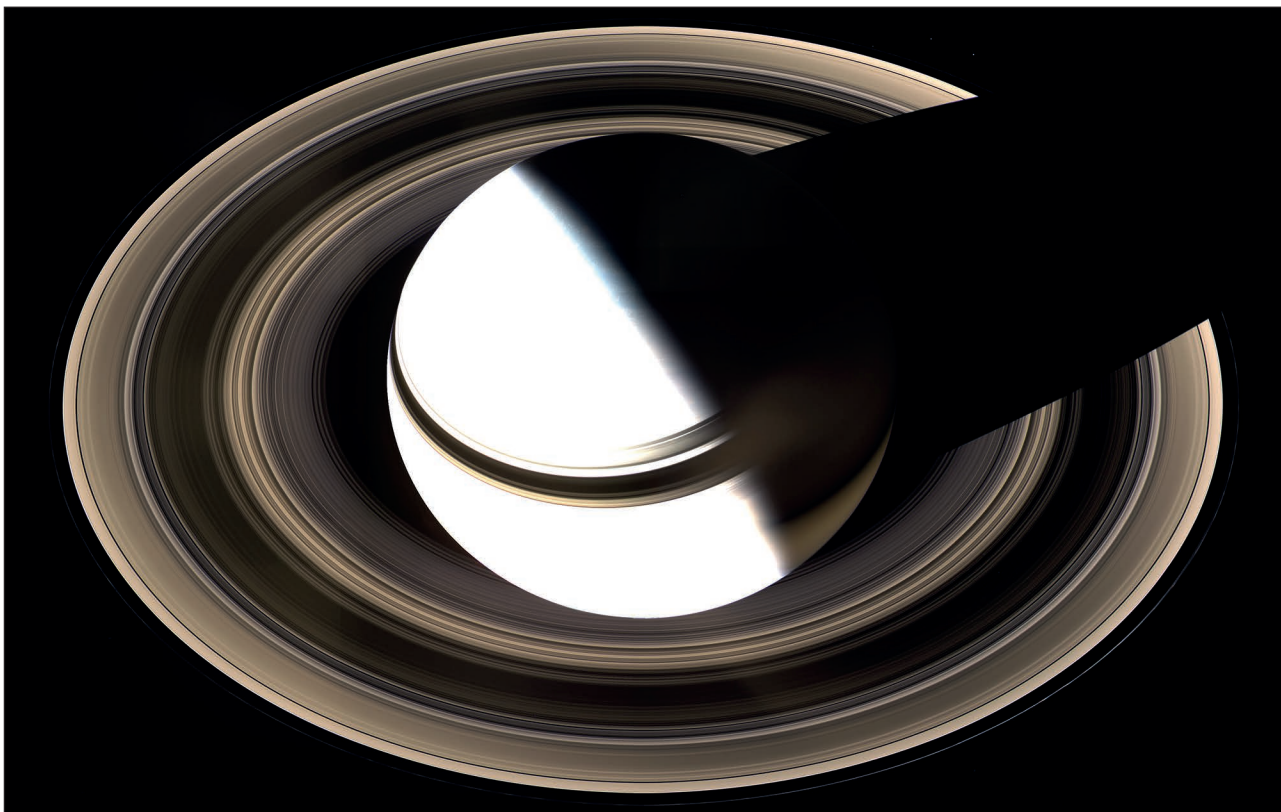
műszerek méréseivel együtt 635 GByte adatot küldött a Földre. Az adatok tudományos feldolgozása több évtizedes munka, eddig már több mint 4000 tudományos cikk jelent meg a témával kapcsolatban. A különböző üzemmódokra és pályavezérlésekre 2,5 millió parancsot küldtek, és 360 alkalommal működtették a pályakorrekciós hajtóműveket. A képek 1 Mpixel felbontású fekete fehér képek, különböző színszűrők segítségével hozták létre a színhe-

lyes fotókat, és több sorozatnyi felvétel megfelelő összeillesztésével hozták létre a nagyfelbontású fényképeket.

Az élet lehetőségének csírait tartalmazó másik hold, az 1789-ben felfedezett Enkeládusz, amelynek átmérője 500 km. A holdról a kutatók már tudták, hogy külsejét vízjég borítja, felszínformáló erői pedig még a közelmúltban is aktívak lehettek. 2005-ben a Cassini felfedezte, hogy a felszíni gejzírek vízpárát és jégszemcséket lövellnek a hold légkörébe. Majd az Enkeládusz déli pólusánál geológiai aktivitás jeleit is megtalálták (felszálló hó és kráterek). E jelenség alaposabb vizsgálata érdekében a Cassini eredeti pályatervét módosították. Többször visszatértek a hold közelébe, az űrszonda először 165 km-re, majd a későbbiek során 25 km-re repült el az Enkeládusz déli pólusa felett. 2008-ban kimutatták, hogy az Enkeládusz jégpáncélja alatt forró kőzetek helyezkednek el. Légkörében, a vízen kívül szén-monoxid, szén-dioxid, metán, szilícium-dioxid és sok szerves vegyület is megtalálható. Később a hidrogén jelenlétét is kimutatták a légkörben. E mérési adatok alapján a kutatók feltételezik, hogy a felszín alatt az élet egy kezdetleges formája létrejöhetett. A Titán és az Enkeládusz holdakon adottak a körülmények a kezdetleges létformák kialakulásához, ezért a jövőben kutatások célja lehet az élet nyomainak – akár annak mikroszkopikus formájában történő – keresése. A NASA új terveiben már szerepel egy 10 éven belüli program a Szaturnusz holdjainak további kutatására.

A Szaturnusz légkörében már korábban is észleltek erős viharos időszakokat, nagyjából harmincévenkénti periódussal. A Cassini által sikerült végigkövetni egy jelentős vihar sorsát. A Cassini 2010-ben lefényképezte az északi féltekén kialakuló óriási viharcsíkot, ami pár hónap alatt teljesen körbeírta a bolygót. A légkör viharos részén a Szaturnusz hőmérséklete 83°C-kal melegebb volt a kör-

9. ábra. A Cassini fényképe a Szaturnuszról és gyűrűrendszeréről (Fotó: NASA)



nyezeténél. Ilyen jelentős hőmérséklet-különbség ezen a bolygón nagyon ritka. Az óriás vihargyűrű ugyan egy évig tartott, de a nyomvonalában a környezetétől eltérően erős szelek tomboltak a légkörben később is.

A Szaturnusz légkörének és a gyűrűk szerkezetének vizsgálatára már a Szaturnusz körüli pályára állás kezdetén is lehetőség nyílt, de az igazi alkalom a szonda életének utolsó fázisában adódott. A Szaturnusz gyűrűi a felhőktől 2000 km-re kezdődnek és 120 000 km-ig tartanak. A szonda 22-szer átrepült a Szaturnusz légköre és a belső gyűrű közötti résen. Az első átrepülés alkalmával a NASA vezetői attól tartottak, hogy a 124 000 km/h-s sebességgel repülő szondában a gyűrűből származó szilárd részecskék esetleg nagy kárt tehetnek. Ezért 4 méter átmérőjű antennáját menetirányba fordították, hogy pajzsként védje műszereit a gyűrű síkjában feltételezhető szilárd részecskéktől. A rés meglepő módon pormentes volt, és nem történt meghibásodás. A Titán hold gravitációs lendítő terét használva, az 1400 millió km távolságban lévő szondát a keskeny résbe pontosan irányították. Ennek köszönhetően a Cassini soha nem látott közelségből vizsgálhatta a bolygót és a gyűrű-rendszert.

A Cassini a poláris pályája során nagyfelbontású fényképeket készített egy szabályos hatszög alakú felhőzeti formációról, amelyet már az 1980-as években felfedeztek. Az északi pólusnál lévő hatszög egy-egy oldala megközelíti a Földünk átmérőjét, az állandónak tűnő felhő alakzatot a Cassini által már 2004-ben infravörös tartományban érzékelték. Később, 2009-ben, amikor az északi féltekén a szaturnuszi tavasz során a Nap megvilágította, akkor több felvételt készítettek róla. A hosszan tartó stabil hatszögű, szinte teljesen szabályos alakzat együtt forog a bolygóval és a keletkezésére máig nincs magyarázat.

A gyűrűk vastagsága meglepően kicsi, a 20 métert nem haladja meg, alkotórészei a porszemcséktől 10 méterig terjednek, helyenként azonban 4 km-es magasságot elérő hullámok láthatók. A Szaturnusz bolygó gyűrűje a közeli holdjainak gravitációs tere miatt marad egyben. A gyűrűkben lévő sűrűségi hullámokat a csillagászok szerint úgynevezett holdrezonanciák hozzák létre. A rezonanciák lelassítják és mérsékelik a gyűrűk szétterjedési lendületét.

A képek nemcsak tudományos szempontból érdekesek, hanem természetességükben szépek is. A Cassini és a Huygens segítségével kapott új tudományos eredmények minden várakozást felülmúltak és jelentősen bővítették a Naprendszerrel szóló ismereteinket. A meghosszabbított üzemidő elteltével a Cassini űrszondát 2017. szeptember 15-én a Szaturnusz légkörébe irányították, ahol megsemmisült. Az űrszondapáros másik tagja, a Huygens pedig immár a Titán felszínén pihen, ahová lassan másfél évtizede szállt le.

IRODALOM

1. <https://saturn.jpl.nasa.gov/> [2019.01.11.];
2. <https://www.jpl.nasa.gov/missions/cassini-huygens/> [2019.01.11.];
3. https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Cassini-Huygens [2019.01.11.];
4. Cassini Plasma Spectrometer (CAPS). <https://saturn.jpl.nasa.gov/cassini-plasma-spectrometer/> [2019.01.11.];
5. Magnetometer (MAG). <https://saturn.jpl.nasa.gov/magnetometer/> [2019.01.11.];
6. S. Kellock, P. Austin, A. Balogh, G. Gerlach, R. Marquedant, G. Musmann, E. Smith, D. Southwood, S. Szalai: Cassini dual technique magnetometer

instrument; 5-6 Aug. 1996, Denver; SPIE Vol.2803/141-152. DOI: 10.1117/12.253414;

7. Young, D. T., Barraclough, B. L., Berthelier, J. J., Blanc, M., Burch, J. L., Coates, A. J., Goldstein, R., Grande, M., Hill, T. W., Illiano, J. M., Johnson, M. A., Johnson, R. E., Baragiola, R. A., Kelha, V., Linder, D., McComas, D. J., Narheim, B. T., Nordholt, J. E., Preece, A., Sittler, E. C., Svenes, K. R., Szalai, S., Szego, K., Tanskanen, P. and Viherkanto, K., Cassini plasma spectrometer investigation, in Cassini/Huygens: a mission to the Saturnian systems, SPIE, 2803, pp. 118–128, 1996. DOI: 10.1117/12.253412;
8. Young, D. T., Barraclough, B. L., Berthelier, J. J., Blanc, M., Burch, J. L., Coates, A. J., Goldstein, R., Grande, M., Hill, T. W., Illiano, J. M., Johnson, M. A., Johnson, R. E., Baragiola, R. A., Kelha, V., Linder, D., McComas, D. J., Narheim, B. T., Nordholt, J. E., Preece, A., Sittler, E. C., Svenes, K. R., Szalai, S., Szegő, K., Tanskanen, P., Viherkanto K. 1998. Cassini plasma spectrometer investigation. Measurement Techniques in Space Plasmas: Particles, AGU Geophysical Monograph 102, pp. 237–242.;
9. Szego K., Nemeth Z., Foldy L., Cowley SWH, Provan G.: Dual periodicities in the flapping of Saturn's magnetodisk, Journal of Geophysical Research 118: (6) pp. 2883–2887. DOI: 10.1002/jgra.50316 ;
10. Coates A J, Wellbrock A, Lewis G R, Arridge C S, Crary F J, Young D T, Thomsen M F, Reisenfeld D B, Sittler E C, Johnson R E, Szego K, Bebesi Z, Jones G H: Cassini in Titan's tail: CAPS observations of plasma escape, Journal of Geophysical Research 117: (5) 11 p. Paper A05324. DOI: 10.1029/2012ja017595
11. NASA Extends Cassini's Grand Tour of Saturn <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=1659> [2019.01.11.];
12. Elizabeth Howell: Cassini-Huygens: Exploring Saturn's System. <https://www.space.com/17754-cassini-huygens.html> [2019.01.11.];
13. NASA at Saturn: Cassini's Grand Finale. <https://www.youtube.com/watch?v=xrGAQCq9BMU> [2019.01.11.];
14. Cassini's Final Images: Strange Angular Clouds. Saturn Structures? <https://www.youtube.com/watch?v=zsNp1RdMe58> [2019.01.11.];
15. NASA's Cassini Spacecraft: A Journey's End. <https://www.youtube.com/watch?v=gPdgsPTNhac> [2019.01.11.];
16. Megkezd a nagy finálét a Cassini űrszonda. http://mta.hu/tudomany_hirei/nagy-finalera-keszul-a-cassini-bolygoszonda-107639 [2019.01.11.];
17. http://mta.hu/tudomany_hirei/egy-huszeves-urtortenet-vege-a-szaturnusz-vegleg-befogadja-a-cassini-108013.

RÖVIDÍTÉSEK

CAPS – Cassini Plasma Spectrometer.
 CDA – Cosmic Dust Analyzer.
 CIRS – Composite Infrared Spectrometer.
 ISS – Imaging Science Subsystem.
 INMS – Ion and Neutral Mass Spectrometer.
 MAG – Magnetometer.
 MIMI – Magnetospheric Imaging Instrument.
 RPWS – Radio and Plasma Wave Science.
 RSS – Radio Science.
 UVIS – Ultraviolet Imaging Spectrograph.
 VIMS – Visible and Infrared Mapping Spectrometer.