

# A CASSINI BOLYGÓSZONDA BÚCSÚZNI KÉSZÜL

Szabados László

MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet

A Naprendszer leglátványosabb bolygóját, a Szaturnuszt több mint egy évtizeden át közelről kutató Cassini űrszonda hamarosan befejezi tevékenységét. Ez év áprilisában megkezdődött – a szondát működtető szakemberek által adott elnevezéssel – a *Nagy Finálé*, amelynek során a Cassini fokozatos pályamódosítások hatására idén szeptemberben a Szaturnuszba csapódva fejezi be eddig rendkívül eredményes tevékenységét.

E cikkben a Szaturnusz bemutatása után áttekintjük a Cassini küldetésének történetét, eddigi legfontosabb eredményeit, és arra is kitérünk, hogy az űrprojekt felelős vezetői a szonda megsemmisítésének miért éppen ezt a módját választották (1. ábra).

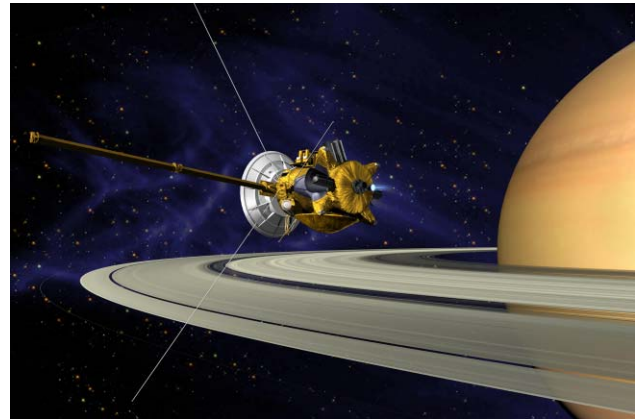
## A Szaturnusz és környezete

### A bolygó

Az éjszakai égen szabad szemmel fényes pontként látható Szaturnusz a Nap körül keringő óriás gázbolygók közé tartozik. A legnagyobb bolygó, a Jupiter külső szomszédjaként 29,5 év alatt végez egy keringést a Nap körül, nagyjából azonos síkban mozogva, mint az összes többi bolygótársa. Pályája elliptikusabb, mint a Földé, keringése során 1,5 milliárd kilométerre kerül a Naptól, amikor legtávolabb van tőle, míg napközben ez a távolság a tizedével csökken.

A Naptól ilyen nagy távolságban már kevés az egysegyeni felületre beérkező napsugárzás, emiatt a bolygó felszínén rendkívül alacsony a hőmérséklet: átlagértéke  $-140\text{ °C}$  és  $-190\text{ °C}$  közé esik, attól függően, hogy a bolygó melyik külső rétegét vizsgáljuk, hiszen egy gázbolygónak nincs szilárd felszíne.

A Szaturnusz közepes sugara 58 230 km, azaz a bolygó nagyjából 9-szer akkora, mint a Föld (2. ábra). Gázbolygó lévén azonban a tengely körüli forgás során fellépő erők hatására alakja erősen lapult: egyenlítői sugara 60 270 km, míg ez a pólusok irányában csak 54 360 km. Bár a bolygó térfogata 764-szerese a Földének, a tömege csupán 95-ször több saját bolygónk tömegénél, mivel a Szaturnusz átlagos sűrűsége meglepően alacsony: mindössze 0,687 gramm köbcéntiméterenként, ami még a víz sűrűségénél is kisebb.



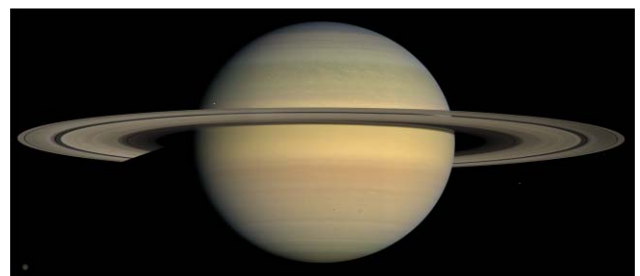
1. ábra. A Cassini a Szaturnusznál (fantáziarajz).

A bolygót burkoló atmoszféra kémiai összetétele pontosan ismert: nagyrészt hidrogén alkotja (96,3 térfogatszázalékban), a második leggyakoribb elem a hélium (3,3%), és fontos még a metán ( $\text{CH}_4$ , 0,4%) és az ammónia ( $\text{NH}_3$ , 0,01%) jelenléte. Nyomokban még előfordul acetilén, etán, metán, propán és foszfin is a Szaturnusz atmoszférájában. A gáz halmazállapotú összetevők mellett még jegek is előfordulnak: az ammónia, a víz ( $\text{H}_2\text{O}$ ) és az ammónium-hidroszulfid ( $\text{NH}_4\text{SH}$ ) molekuláinak szilárd halmazállapotú kristályai vagy szemcséi.

A Szaturnusz atmoszférája sávok szerkezetűnek látszik, hasonlóan a Jupiteréhez, de itt a sávok a bolygó egyenlítője felé egyre szélesednek, és megjelenésük kevésbé feltűnő. A világos és sötétebb árnyalatú sávok a bolygó gyors tengelyforgása következtében alakulnak ki, amely forgás ráadásul függ az egyenlítőtől mért távolságtól (a bolygórajzi szélességtől) is. E differenciális tengelyforgás jellegzetessége az, hogy az egyenlítőhöz közeledve rövidebb a forgási periódus, a pólusok felé pedig hosszabbodik. A Szaturnusz nagyjából 10 és fél óra alatt tesz meg egy fordulatot a forgástengelye körül, így az egyenlítője környékén majdnem 10 km/s a forgás sebessége. A forgási periódus

A Szaturnusz nap-éj egyenlősége közelében. A Cassini 2008. júliusi felvétele (forrás: NASA/JPL/Space Science Institute).

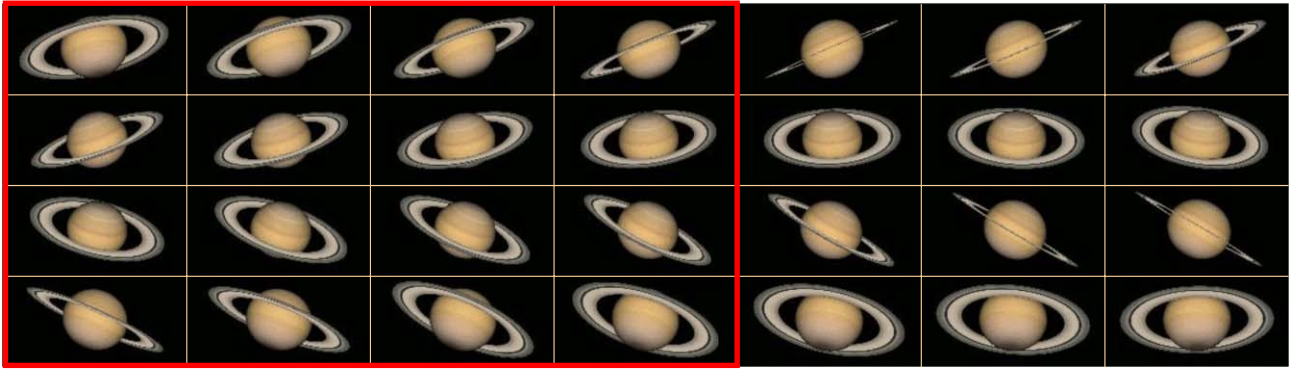
2. ábra. A Szaturnusz nap-éj egyenlősége közelében. A Cassini 2008. júliusi felvétele (forrás: NASA/JPL/Space Science Institute).



A cikk az mta.hu portálon 2017 áprilisában közölt összeállítás kissé módosított változata.



Szabados László (1948) az MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézetének kutató professor emeritusa, az SZTE címzetes egyetemi tanára, a *Magyar Tudomány* folyóirat egyik szerkesztője. Asztrofizikusként változócsillagokkal, főként cefeidákkal foglalkozik. Kimutatta, hogy a cefeidák többsége kettős rendszerhez tartozik (ami fontos a kozmikus távolságmérés kalibrálásában). Eddig 160 tudományos és 275 ismeretterjesztő írása jelent meg. A (265490) Szabados kisbolygót róla nevezték el.



3. ábra. A Szaturnusz 29,5 éves keringési periódusa során folyamatosan változik a napsugarak beesési szöge.

dus pontos értéke azonban mindmáig nem ismert, hiszen nincsen olyan pont a bolygó felszínén (sőt hagyományos értelemben vett felszín sincs), amelyhez viszonyítva a forgást követni lehetne.

Maga a forgástengely nem merőleges a bolygó Nap körüli keringésének síkjára, hanem  $26,73^\circ$ -os szöveget zár be a pályasíkra bocsátott merőlegessel. Ezért a Földhöz hasonlóan a Szaturnuszon is vannak évszakok, csak a majdnem 30 éves keringési periódus miatt egy-egy évszak jóval hosszabb ideig tart a Szaturnuszon, mint a Földön (3. ábra).

A bolygó belső részének összetételére és rétegződésére különféle mérések és elméleti modellek alapján lehet következtetni. Mivel a nyomás és a hőmérséklet a bolygó belseje felé fokozatosan nő, legfeljebb a hidrogén és a hélium szilárd, mégpedig fémes viselkedésű. A Szaturnusz centrumában a hőmérséklet eléri a  $11\,700^\circ\text{C}$  értéket. Az ennek megfelelő hőenergiát a bolygó kisugározza, méghozzá 2,5-szer több energiát bocsát ki, mint amennyit a Nap sugárzásából elnyel. A belső energia egy része a bolygó lassú összehúzódásából származik, de a bolygó sugárzási többletéhez más, egyelőre nem azonosított folyamat is hozzájárul.

### A Szaturnusz gyűrűi

A Szaturnusz ismertsége leginkább a bolygót körülvevő gyűrűknek tulajdonítható. Gyakran ezért is hivatkoznak gyűrűs bolygóként a Szaturnuszra. Az utóbbi évtizedekben kiderült, hogy a Naprendszer többi gázbolygóját (a Jupitert, az Uránuszt és a Neptunuszt) is gyűrűk övezik, de egyik gyűrűrendszer sem olyan látványos, mint a Szaturnusz körüli. A legbelső gyűrű a bolygó egyenlítője fölött  $6630\text{ km}$  távolságban húzódik, a legkülső pedig a Szaturnusztól  $120\,700\text{ km}$  távolságban ér véget. A több mint százezer kilométeres szélességgel szemben a gyűrűrendszer vastagsága elképesztően csekély, átlagosan  $20\text{ méter}$ . A gyűrűt alkotó részecskék mérete a szemcsétől a  $10\text{ méteresig}$  terjed. A gyűrű alkotóelemeinek összetétele viszonylag homogén, ugyanakkor

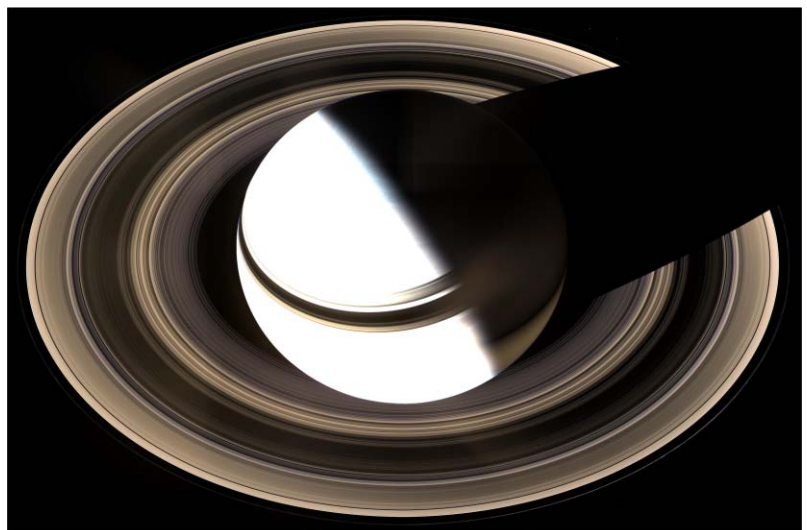
meglepő: a porszemek és a sziklák is  $93\%$ -ban vízből állnak, a maradék  $7\%$ -ot amorf szén teszi ki.

A gyűrűrendszer sok száz egyedi gyűrűből áll, és a gyűrűk között néhol jól kivehető üres tartományok, rések vannak (4. ábra). Az első ilyen *Giovanni Domenico Cassini* ( $1625\text{--}1712$ ) itáliai származású francia csillagász fedezte fel  $1675$ -ben, és ezt órára nevezték el Cassini-résnek.

A gyűrűk eredetére vonatkozóan két elmélet verseng. Az egyik szerint a gyűrűk egy szétesett hold megmaradt darabjai, a másik szerint pedig a Naprendszer őanyagának maradványai, amelyek nem tudtak holddá – azaz egyetlen testté – egyesülni a bolygó körül a többi hold keletkezésekor, azaz röviddel a Naprendszer kialakulása után. Ez utóbbi teóriának ellentmond az a tény, hogy a gyűrű anyaga cserélődik (a vízből szublimál), és a gyűrűket alkotó részecskék életkora legfeljebb néhány százmillió év.

A Szaturnusz fő gyűrűrendszerén kívül a bolygótól  $12\text{ millió kilométerre}$  még egy gyűrű húzódik, amely a Phoebe hold anyagából jött létre. Ez a gyűrű és a Phoebe pályasíkja egyaránt  $27^\circ$ -os szöveget zár be a gyűrűrendszer és a többi hold keringési síkjával. A Phoebe és a belőle kialakult gyűrű további érdekessége az, hogy a többi holddal és a fő gyűrűrendszerrel ellentétes irányban keringenek a Szaturnusz körül.

4. ábra. A Szaturnusz gyűrűrendszere (forrás: NASA/JPL/Space Science Institute).



## A Szaturnusz holdjai

A Szaturnusznak kiterjedt holdrendszere van. Az első hold, a Titan felfedezése *Christiaan Huygens* (1629–1695) holland fizikus-csillagász érdeme. A gyűrűrendszerbeli első rést felfedező Cassini később négy holdat is talált a Szaturnusz körül, a Iapetus, a Rhea, a Tethys és a Dione nevűt (a Szaturnusz valamennyi holdja a görög mitológiában szereplő titánokról kapta a nevét). Újabb holdak felfedezésére még egy évszázadot kellett várni: a Mimas és az Enceladus nevű kísérőket 1789-ben találta meg *William Herschel* (1738–1822) német születésű angol csillagász (eredeti foglalkozása zenész). Időrendben a Hyperion felfedezése következett (1848), majd a Phoebe holdé (1899).

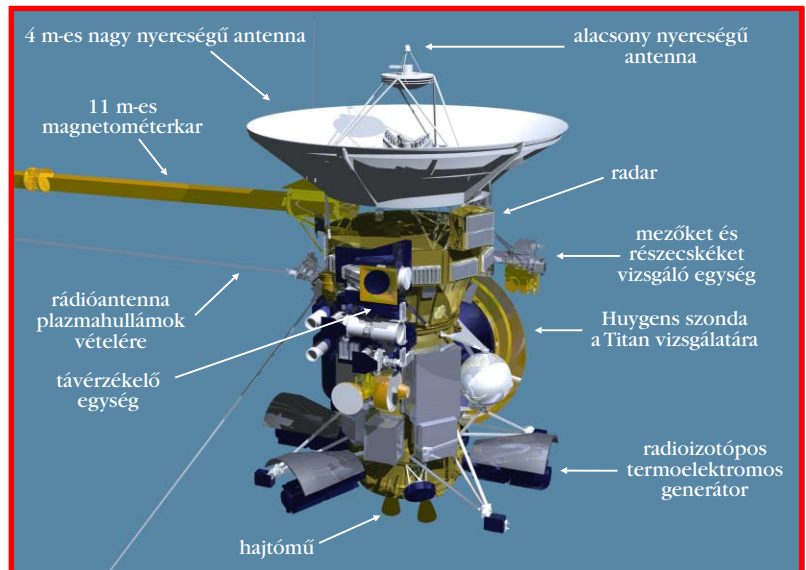
A Szaturnusz űrszondákkal végzett vizsgálata számos további hold felfedezését eredményezte. Jelenleg a Szaturnusz 62 holdjáról van tudomásunk, amelyek közül 34 átmérője 10 km-nél kisebb, további 14 pedig 10–50 km közötti méretű. A gyűrűk között viszont még tucatjával lehetnek legfeljebb néhány száz méter méretű további holdacskák.

A Szaturnusz legnagyobb holdja, a Titan azért különleges, mert a naprendszerbeli holdak közül egyedül ezt burkolja vastag atmoszféra.

## A Szaturnusz korábbi vizsgálata űrszondákkal

A naprendszerbeli külső bolygókat már évtizedek óta vizsgálják űrszondákkal. Eleinte olyan bolygószondák fedélzetén elhelyezett műszerekkel végezték a méréseket és készítették a felvételeket, amelyek a bolygókat megközelítve hatalmas sebességgel el is száguldtak mellettük, mert pályájuk kifelé vezet a Naprendszerből. Ám a közelrepülés percei-órái során összegyűjtött információ is rengeteg eredménnyel szolgált, egyben jó összehasonlítási alapot nyújtott az adott bolygó körül évekkel vagy évtizedekkel később keringési pályára állt szonda méréseivel történő összehasonlításra.

Nem egészen negyven évvel ezelőtt rövid időn belül három amerikai űrszonda is elhaladt a Szaturnusz mellett. Elsőként a NASA Pioneer-11 szondája vizsgálta közelről a gyűrűs bolygót, amikor 1979 szeptemberében mindössze 20 000 km távolságra suhant el a bolygó atmoszférájának legfelső felhőrétegeitől. A Pioneer-11 felvételei alapján fedezték fel a nagyon vékony F-gyűrűt. Ugyancsak e szonda jóvoltából derült fény arra, hogy a gyűrűk között a Földről sötétnek látszó rések megfelelő szögből (ellenfényben) fényképezve világosak. Ez arra utal, hogy a rések sem üresek, a bennük található anyag szórja a ráeső napsugárzást.



5. ábra. A Cassini–Huygens űrszondán található főbb műszerek.

Egy év elteltével, 1980 novemberében a Voyager-1 repült el a Szaturnusz rendszere mellett. A szonda fedélzeti kamerái készítették az első nagy felbontású fényképeket a bolygóról, a gyűrűiről és a holdjairól. Először sikerült képet alkotni hét hold felszínének jellegzetességeiről. A Titan esetében – amelyet 4000 km-ről tudta vizsgálni – pedig bebizonyosodott, hogy atmoszférája az optikai hullámhossztartományban átlátszatlan, a hold felszíne egyáltalán nem látszik.

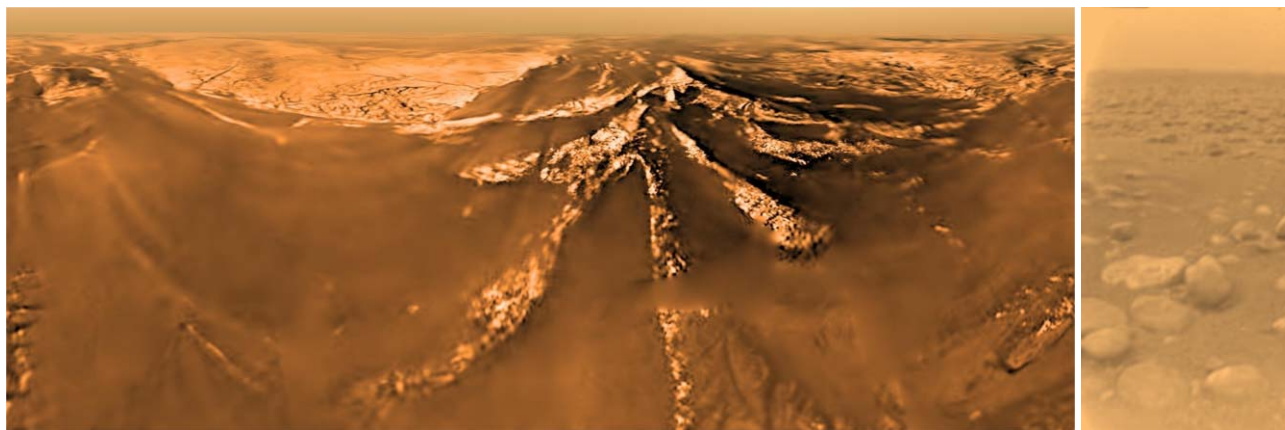
Szűk egy éven belül, 1981 augusztusában pedig a Voyager-2 haladt el a Szaturnusz mellett, százezer kilométerre megközelítve a gyűrűs bolygót. Újabb közelképek készültek és jutottak vissza a Földre a bolygóról és holdjairól (összesen 16 000 felvétel), és bizonyító erejű képek születtek arról, hogy a Szaturnusz atmoszférájában és gyűrűiben is változások zajlanak.

E három korai űrszonda eredményei közé tartozott még néhány olyan apró hold felfedezése, amelyek a gyűrűkhöz közel vagy éppen valamelyik részben keringenek, sőt addig ismeretlen két rést is azonosítottak a gyűrűkben.

## A Cassini–Huygens küldetés

Egy naprendszerbeli égitest megismerésének legcélszerűbb módja az, hogy egy odairányított űreszközt pályára állítanak körülötte, így hosszú időn át lehetőség nyílik különféle mérési adatok összegyűjtésére. Ha az is kivitelezhető, akkor a szonda vagy annak egy részegysége leszáll a vizsgálandó égitest felszínére. Ez utóbbi megoldást elsősorban a Mars és a Vénusz bolygók kutatása során alkalmazták. Keringő szondákat azonban két óriásbolygó, a Jupiter<sup>1</sup> és a Szaturnusz tanulmányozására is bevetettek.

<sup>1</sup> A Jupiter helyszíni vizsgálatára vonatkozóan lásd: [http://mta.hu/tudomany\\_hirei/a-juno-urszonda-megkezdte-az-adatgyujtest-a-jupiternel-106707](http://mta.hu/tudomany_hirei/a-juno-urszonda-megkezdte-az-adatgyujtest-a-jupiternel-106707).



6. *ábra.* A Huygens szonda DISR kamerájával ereszkedés közben, 2 km magasságból a Titanról készített panorámakép, balra és leszállás után a felszínről készített fotó, jobbra (forrás: ESA/NASA/JPL/University of Arizona).

A Szaturnusz vizsgálatára vonatkozó Cassini–Huygens űrszondát 1997. október 15-én indították. A szonda két fő egysége közül a Cassini feladata az, hogy a Szaturnusz körül keringve vizsgálja magát a bolygót, a gyűrűrendszert és minél több holdat, amikor éppen közel kerül valamelyikhez. A szonda másik egysége, a Huygens pedig a Titan hold részletes helyszíni vizsgálatára szolgált, azaz a hold felszínére leereszkedve.

A Cassini a NASA, a Huygens pedig az Európai Űrügynökség (ESA) szondája (5. *ábra*). A mérési adatokat a Földre továbbító nagy teljesítményű rádióantennákat az Olasz Űrügynökség (ASI) bocsátotta a misszió rendelkezésére. A Huygens fedélzetén magyar közreműködéssel készített berendezések is helyet kaptak: az MTA Rézecske- és Magfizikai Kutatóintézet (ma MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont) szakemberei a fedélzeti magnetométer és a plazmaspektrométer földi ellenőrző és kalibráló rendszerét alkották meg.

Az üzemanyag-takarékosság érdekében a Cassini–Huygens űrszonda pályája nem közvetlenül a Szaturnuszhoz vezetett. Az asztronautikában már jól bevált módon a szonda pálya menti sebességét úgynevezett gravitációs lendítéssel növelték, miközben a szonda több bolygó (kétszer a Vénusz, utána a Föld, majd a Jupiter) mellett elhaladva kihasználta azok tömegvonzását. Amikor a Cassini–Huygens egy-egy bolygó mellett elhaladt, természetesen tudományos vizsgálatokat is végzett, amelyek során kipróbálta a fedélzeti műszereit. A Jupiterről, a Naprendszer legnagyobb bolygójáról például a 2000–2001. év fordulóján bekövetkezett „találkozója” során az addigi legrészletesebb képeket készítette.

A szondapáros végül 2004. július 1-jén állt pályára a Szaturnusz körül. A Huygens 2004. december 25-én vált le az anyaszondáról, majd 2005. január 14-én sima leszállást végzett a Titan addig teljesen ismeretlen felszínére (6. *ábra*).

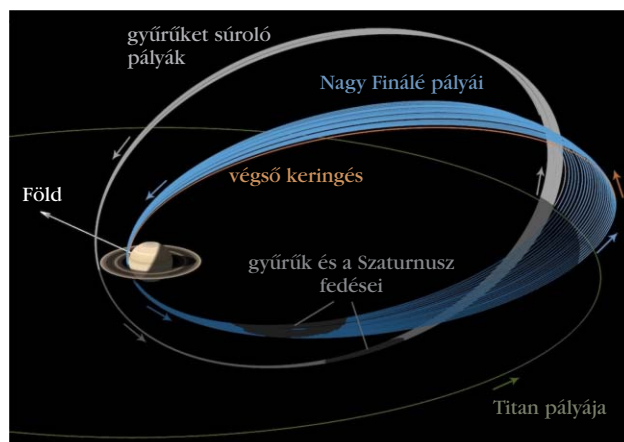
A Szaturnusz rendszerének eredetileg négy év időtartamúra tervezett vizsgálatát már kétszer meghosszabbították. 2017. április 22-én azonban végérvényesen utolsó fázisába lépett az észlelési program, és megkezdődött a Cassini Nagy Fináléja, amelynek so-

rán a szonda többszöri pályamódosítás után végül szeptember közepén a Szaturnuszba csapódik (7. *ábra*). A Cassini-küldetés felelős vezetői azért választották a szonda megsemmisítésének ezt a módját, hogy a Szaturnusz rendszerét még véletlenül se tegyék ki emberi eredetű szennyezésnek. Ha ugyanis a szonda műszereit egyszerűen csak kikapcsolják, akkor akár tetszőlegesen hosszú idő elteltével előfordulhat, hogy az akkor már kontrollálhatatlan pályán mozgó szonda valamelyik holdra zuhan, és földi eredetű szennyezést is szállíthat oda. Ezt pedig feltétlenül el kell kerülni, ha a kutatások egyik célja az élet lehetőségeinek keresése a Naprendszer más égitestein.

Melyek voltak az előre kitűzött tudományos feladatok?

- A Szaturnusz magnetoszférája háromdimenziós szerkezetének meghatározása és dinamikus viselkedésének vizsgálata;
- A bolygó dinamikus atmoszférájának vizsgálata a felhők szintjén;
- A Szaturnusz körüli gyűrűk háromdimenziós szerkezetének feltérképezése és a gyűrűrendszer dinamikus viselkedésének leírása;
- A holdak geológiai történetének és felszíni kémiai összetételének meghatározása;

7. *ábra.* A Cassini Nagy Fináléjának vázlatja (NASA/JPL/Caltech).



– a Iapetus hold keringési irányába eső félgömbjén (az úgynevezett vezető oldalon) levő sötét foltok természetének és eredetének tisztázása;

– A Titan hold felhőzetében és atmoszferikus ködösségében bekövetkező időbeli változások tanulmányozása;

– A Titan felszínének jellemzése a leszállás környezetében.

### A Cassini fedélzeti műszerei

– *Plazmaspektrométer*: az elektronok és protonok energiájának és elektromos töltésének mérésére. A Szaturnusz ionoszférájából származó molekulák vizsgálata alapján meghatározza a bolygó mágneses mezejének konfigurációját. Méri a magnetoszféra belsejében található (részben a napszélből eredő) plazmát is.

– *Kozmikus port elemző készülék*: a Szaturnuszhoz közeli apró porszemek nagyságának, sebességének és irányának mérésére.

– *Összetett infravörös-spektrométer*: a különféle objektumokról (atmoszféra, gyűrűk vagy holdak felszíne) érkező infravörös sugárzás mérésére, amelynek alapján következtetni lehet a hőmérsékletre és az összetételre. A Szaturnusz atmoszférájának háromdimenziós feltérképezése a hőmérséklet, a nyomás, a gázösszetétel, az aeroszolok és felhők eloszlásának meghatározásához.

– *Tömegspektrométer*: a töltött részecskék (protonok és nehéz ionok) és semleges részecskék (atomok) vizsgálatára.

– *Képkalkotó alrendszer*: felvételek készítésére a látható tartományban, valamint az infravörös- és ultraibolya-tartomány egy részében.

– *Magnetométer*: a Szaturnusz körüli mágneses mező erősségének és irányának mérésére. A mágneses mezőt részben a bolygó fémes magja kelti. A mágnesség mérésével lehetővé teszi a mag vizsgálatát.

– *Magnetoszférikus képkalkotó berendezés*: a Szaturnusz hatalmas mágneses mezeje által csapdába ejtett részecskék vizsgálatára.

– *Radár*: a Titan felszínének feltérképezésére és a felszíni objektumok (hegyek, kanyonok) magasságának meghatározására az elküldött és visszaverődött rádiójelek alapján, továbbá a Szaturnusz rádiósugárzásának vizsgálatára.

– *Rádió- és plazmabullám-vizsgáló*: a Szaturnusz felől érkező (például atmoszferikus villámoktól származó) rádiójelek, beleértve a Szaturnusz, a Titan és a napszél kölcsönhatásából adódó rádióhullámok vizsgálatára.

– *Rádiótudományi alrendszer*: földi rádióantennák segítségével figyeli, milyen változásokat szenvednek az űrszonda rádiójelei különböző objektumokon (például a Titan atmoszféráján vagy a Szaturnusz gyűrűin) való áthaladásakor.

– *Ultraibolyában leképező spektrográf*: a visszaverődő ultraibolya sugárzás alapján készít képeket a Szaturnusz felhői és gyűrűi szerkezetének és összetételének vizsgálatához.

– *Optikai és infravörös térképező spektrométer*: egy látható tartományban és egy infravörösben érzékelő kamerából áll.

### A Huygens fedélzeti műszerei

– *Az atmoszféra szerkezetét kutató műszer*: mérte a Titan atmoszférájának fizikai és elektromos tulajdonságait. A berendezéshez tartozott az ereszkedés során és a talajt éréskor hallható hangokat rögzítő mikrofon is.

– *Doppler-kísérleti eszköz*: a szonda rádiójeleiben fellépő Doppler-eltolódás mérésére, amelynek alapján azonosítani lehet bármilyen elmozdulást.

– *Leszállási képkalkotó és spektrális sugárzásmérő*: több szenzorral és látómezővel végzett megfigyeléseket. Két képkalkotó (egy optikai és egy infravörös) az ereszkedés utolsó fázisában figyelte a felszínt. A szonda forgása közben készített felvételekből mozaikképet alkottak a landolás helyéről. Egy oldalirányú képkalkotóval a horizontot fényképezték.

– *Gázkromatográf és tömegspektrométer*: sokoldalú kémiai gázanalizátor a Titan atmoszférája kémiai összetételének meghatározásához.

– *Aeroszolgyűjtő és pirolizátor*: szűrők segítségével mintákat gyűjtött a légköri aeroszolrészecskékből, majd a mintákat felmelegítette, hogy az illóanyagok elpárologjanak, a szerves anyagok pedig felbomoljanak. A mintát ezután a gázkromatográffal és a tömegspektrométerrel vizsgálták.

– *Felszínvizsgáló tudományos műszer-csomag*: a Titan felszíni tulajdonságainak meghatározásához.

### A Cassini és a Huygens eddigi legfontosabb tudományos eredményei

Ilyen felszereltséggel, a műszerek sokaságát bevetve egyáltalán nem meglepő, hogy megszámlálhatatlan tudományos eredmény született magáról a Szaturnuszról, valamint gyűrűrendszeréről és holdjairól. Itt most csak néhány igazán fontosat emelünk ki.

1. Az első sima leszállás egy külső naprendszerbeli holdon, a Titanon. Ennél távolabbi égitesten még nem szállt le ember alkotta eszköz. A Titanon a földihez hasonló felszíni képződményeket talált a Huygens szonda, folyómedreket, erózió pusztításának nyomait, de víz helyett metántartalmú csapadék esik ott, folyókat, tavakat és tengereket is létrehozva.

2. A Titan prebiotikus kémiájának első vizsgálata. A Titan atmoszférája rengeteg összetett molekulát tartalmaz. A hold felszínéhez közelebb metánt és etánt is kimutattak, és egyéb szerves molekulák is lehetnek, amelyek a felszínre jutva prebiotikus kémiai folyamatokat indíthatnak el.

3. Aktív, jeges kilövellések felfedezése a Szaturnusz Enceladus nevű holdján. Teljes meglepetésként érte a szakembereket, hogy az Enceladus felszínéből vizet tartalmazó anyag áramlik, sőt lövell ki (8. ábra). A hold felszíne alatt nagy kiterjedésű vízóceán



8. *ábra.* Vízkilövellések az Enceladuson (forrás: NASA/ESA/SSI/Cassini Imaging Team).

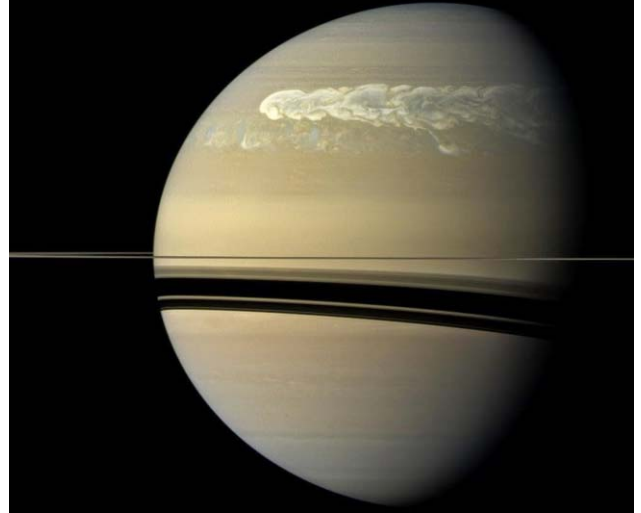
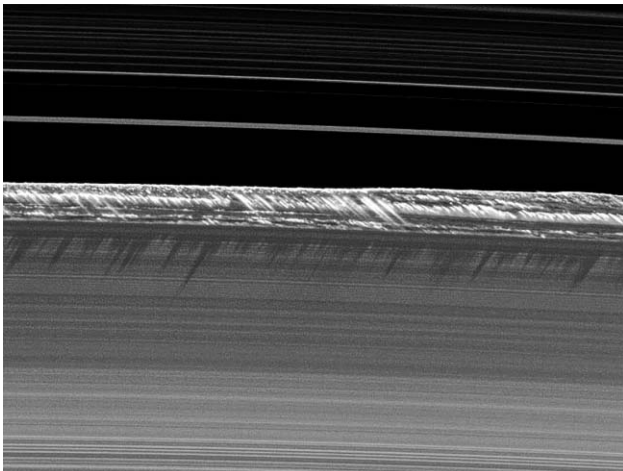
lehet, ezért a kutatásokat kiterjesztették az élet esetleges nyomainak kimutatására is.

4. A gyűrűk aktívak és dinamikusak. Újabb kis holdak kialakulása is a szemünk előtt történik a Cassini némelyik felvételén.

5. A 2010–2011-es nagy légköri vihar tanulmányozása. Korábban is megfigyeltek nagy viharokat a Szaturnusz amúgy viszonylag nyugodt atmoszférájában, ezek általában 30 évenként (évszakos effektus) lépnek fel. A mostani azonban hamarabb jelentkezett, ami a megfigyelés szempontjából nagyon kedvező (9. *ábra*). Addig soha nem észlelt molekulák kerültek a Szaturnusz atmoszférájába. A vihar „körbefolyta” az egész északi féltekét, és akkor csillapodott le (egy év után), amikor az örvénylés „farka” utolérte a viharzóna „fejét”.

6. A rádiósugárzás észlelt változásai nem a Szaturnusz belsejének rotációját tükrözik. A hosszúhullámú rádiósugárzás alapján korábban úgy vélték, hogy annak periodikus változásai a bolygó forgását követik. A Jupiter esetében hasonló mérésekből határozták meg a bolygó tengelyforgási idejét. A Szaturnusznál azonban az északi és déli félgömbökről érkező rádiósugárzás változásai nincsenek szinkronban egymással.

10. *ábra.* A gyűrűk síkjára merőlegesen beeső napfény árnyéka mutatja annak szerkezetét (forrás: NASA/JPL/SSI).

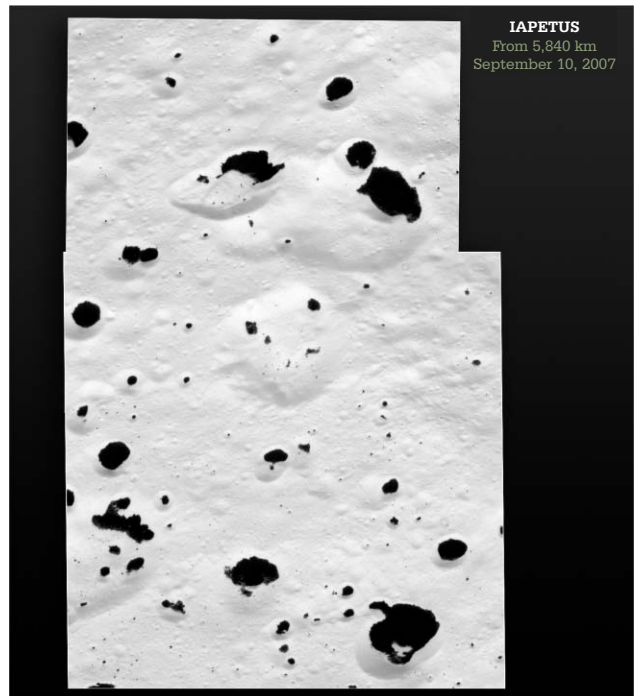


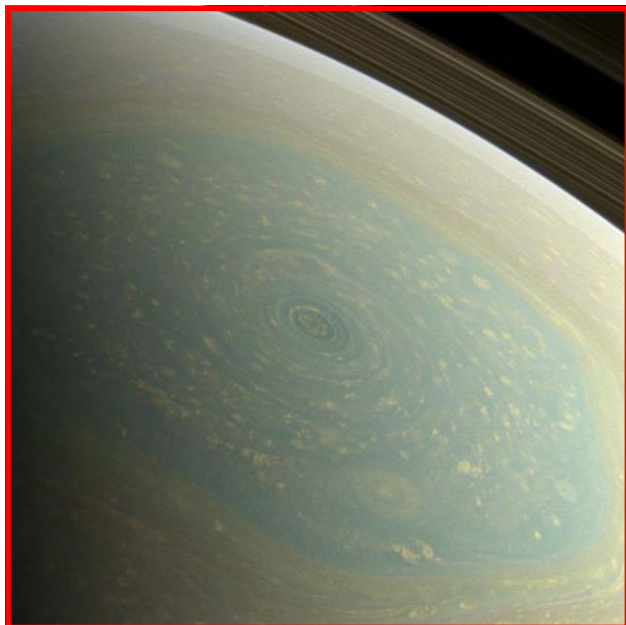
9. *ábra.* Vihar a Szaturnuszon (forrás: NASA/JPL-Caltech/SSI).

7. A gyűrűk vertikális (a síkra merőleges) szerkezetének első meghatározása. A Nap körüli pályáján egy keringés során két alkalommal (vagyis nagyjából 15 évenként) a Nap éléről világítja meg a gyűrűrendszert. A Cassini az egyik ilyen alkalommal a gyűrűt alkotó részecskék árnyékát vizsgálva meghatározta a gyűrűk síkjára merőleges szerkezetét (10. *ábra*).

8. A Iapetus rejtélyes (egy sötét és egy világos félgömbből álló) kétarcúságának megoldása. Már korábban is ismert volt, hogy a Iapetus hold egy világos és egy jóval sötétebb (rossz fényvisszaverő képességű) félgömbből áll, de ennek oka eddig ismeretlen volt. A Iapetus pályája mentén elszórtan elhelyezkedő rossz fényvisszaverő port a hold besöpri, és az az anyag a Iapetus vezető féltekéjén gyűlik össze (11. *ábra*).

11. *ábra.* Rossz fényvisszaverő-képességű por a Iapetus felszínén (forrás: NASA/JPL/SSI).





12. ábra. Hexagon alakú óriáshurrikán a Szaturnusz északi pólusán (forrás: NASA/JPL-Caltech/SSI).

9. Óriás hurrikánok felfedezése a bolygó mindkét pólusa környékén, és az északi poláris hexagon teljes feltérképezése. Szokatlan jelenség a hosszú idő óta jelen levő és majdnem pontosan hatszög alakú képződmény (valójában elképesztően erős örvényzóna) a bolygó északi pólusánál (12. ábra). A Nagy Finálé során a hexagon további vizsgálatával talán sikerül kideríteni e jelenség okát.

A Nagy Finálé időszakában a pályamódosítások hatására a Cassini minden keringése során a gyűrűk belső pereme és a Szaturnusz között halad át, tehát az utolsó 22 keringés alkalmával egészen közelről tudja tanulmányozni a bolygót és a legbelső gyűrűket is. De az igazi közeli vizsgálat majd az lesz, amikor a szeptemberi becsapódáskor a szonda a bolygó atmoszféráján áthatolva néhány másodperc alatt feltérképezi az óriásbolygó atmoszferikus szerkezetét, az ott uralkodó viszonyokat is.

#### Ajánlott irodalom

A Cassini-misszió amerikai weblapja: <https://saturn.jpl.nasa.gov/>  
A Cassini-misszió európai weblapja: [www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Cassini-Huygens](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Cassini-Huygens)

## A FIZIKA TANÍTÁSA

# BESZÁMOLÓ A 2016. ÉVI EÖTVÖS-VERSENYRŐL

Tichy Géza – ELTE Anyagfizikai tanszék

Vankó Péter – BME Fizika tanszék

Vigh Máté – ELTE Komplex Rendszerek Fizikája tanszék

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2016. évi Eötvös-versenye október 14-én délután 3 órai kezdettel tizennégy magyarországi helyszínen<sup>1</sup> került megrendezésre. Külön köszönettel tartozunk mindazoknak, akik ebben szervezéssel, felügyelettel a segítségünkre voltak. A versenyen a három feladat megoldására 300 perc áll rendelkezésre, bármely írott vagy nyomtatott segéd-eszköz használható, de zsebszámológépen kívül minden elektronikus eszköz használata tilos volt. Az Eötvös-versenyen azok vehetnek részt, akik vagy középiskolai tanulók, vagy a verseny évében fejezték be középiskolai tanulmányaikat. Összesen 77 versenyző adott be dolgozatot, 18 egyetemista és 59 középiskolás.

Az ünnepélyes eredményhirdetésre és díjkiosztásra 2016. november 18-án délután került sor az ELTE TTK Konferenciateremben. A mostani díjazottakon kívül meghívást kaptak az 50 és a 25 évvel ezelőtti Eötvös-verseny nyertesei is. Először az akkori feladatokat mutattuk be.

<sup>1</sup> Részletek: <http://mono.eik.bme.hu/~vanko/fizika/eotvos.htm>

## Az 1966. évi Eötvös-verseny feladatai

### 1. feladat

Vízszintes asztallapon álló,  $r = 5$  cm rádiuszú,  $m = 100$  gramm tömegű golyónak nekigurítunk  $v_0 = 280$  cm/s sebességgel egy ugyanilyen golyót. Hogyan folyik le a mozgás? A golyók és az asztallap között a csúszó súrlódási együttható a sebességtől függetlenül  $\mu = 0,02$ . Az ütközés rugalmatlan, centrális; a golyók közötti súrlódás és a gördülési ellenállás elhanyagolható.  $g = 1000$  cm/s<sup>2</sup>. Vizsgáljuk meg az energiaviszonyokat!

### 2. feladat

kitűzte: *Károlyházi Frigyes*  
Vákuumban elhelyezett hengeres, egyenes drótot állandó értékű feszültségforrásra kapcsolunk. Ekkor a drót izzó állapotban fényt sugároz ki. Hogyan lehet a drót méreteit úgy megváltoztatni, hogy változatlan felvett teljesítmény mellett az összes kisugárzott látható fény mennyisége minél több legyen? A fajlagos ellenállás nem függ a hőmérséklettől.