

## HIDROSZFÉRÁK, FOLYADÉKSZFÉRÁK A NAPRENDSZER BOLYGÓTESTJEIN

Illés Erzsébet

ELKH Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont,  
Konkoly Thege Csillagászati Intézet,  
1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 15–17, e-mail: illes@konkoly.hu

*Hydrosphere, Liquidosphere on planetary bodies of the Solar System*

### Abstract

The paper gives a comparative planetological overview on the planets, moons and the dwarf planets of the Solar System from the point of view of the hydrosphere of the Earth. The intention of the paper was to present the special case of the Earth in the planetary system on the basis of our present knowledge.

*Keywords:* hydrosphere, liquidosphere, comparative planetology, planets and moons, Solar system

### Összefoglalás

A cikk összehasonlító planetológiai áttekintést kíván adni a földi hidroszféra vonatkozásában a Naprendszer bolygótestjeiről (szilárd felszínű bolygók és kb. 400 km-nél nagyobb holdak, törpebolygók). A cél, hogy mai ismereteink alapján bemutassuk a Föld különleges helyzetét a Nap bolygórendszerében.

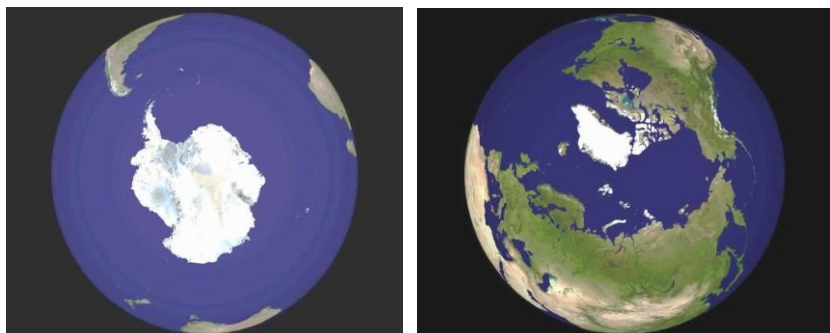
*Kulcsszavak:* hidroszféra, folyadékszféra, összehasonlító planetológia, bolygók és holdak, Naprendszer

### Bevezetés

A Föld folyadékszférája egy hidroszféra. A földi hidroszféra a Föld felszínén főként folyadék formájában jelenlévő H<sub>2</sub>O-k, vagyis vizek összessége, amelyekhez hozzászámítjuk a felszín alatti folyadékokat (talajvíz, bezárt tavak vízmennyisége), valamint a szilárd állapotban (hó, jég) és a légkörben éppen pára formájában jelen lévő H<sub>2</sub>O-t is, azonban nem számítjuk bele a földköpenyben lévő néhány óceányi H<sub>2</sub>O-t (Futera et al., 2017).

*I. ábra:* A Föld a déli, illetve az északi pólus irányából.

*Figure 1:* The Earth seen from the South, and the North Pole, respectively.

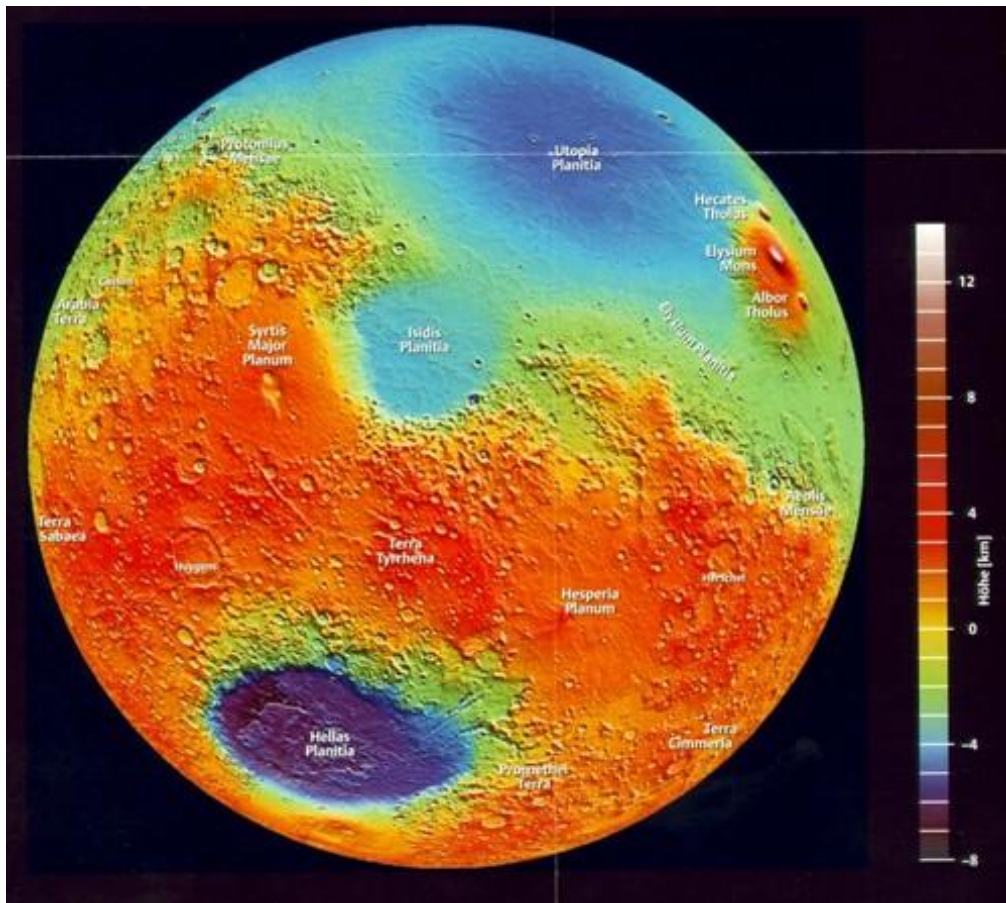


A földi hidroszféra legnagyobb részét a tengerek zárják magukba, amelyek földfelszíni eloszlásukkal, összefolyásaikkal együttesen egy nem-globális világóceánt alkotnak. Ez az óceán a szárazföldek közé van zárva, amelyek „korlátozzák az óceáni áramlásokat, zavarják, terelik azokat”. E világóceán a földfelszín kétharmadát foglalja el (1. ábra).

Ha a Naprendszer bolygótestjeit a földi hidroszféra fogalma szerint akarjuk áttekinteni, akkor a földi hidroszféra két tulajdonságát kell figyelembe venni: hogy *anyaga H<sub>2</sub>O*, tehát *hidroszféra*, és, hogy *főként folyékony állapotú*, tehát *folyadékszféra*. Egyrészt meg kell tehát néznünk, hogy a bolygótesteken hol találtunk vizet, másrészt, hogy hol találtunk más anyagú folyadékot.

## Hidroszférák a Naprendszer bolygótestjein

A szilikátbolygók közül a Merkúr, a Vénusz és a Mars felszínén ma nincs víz. A Merkúr felszínén valószínűleg sohasem volt, mert túl közel van a Naphoz, túl meleg, így ha volt is H<sub>2</sub>O-ja, minden könnyen illó anyagával együtt azt hamar elveszíthette. A Vénusznak, ami vize volt, annak legnagyobb részét a kialakuló *megszaladó üvegházhatás* miatt szintén hamar elveszíthette. A Mars felszínén a Naprendszer életének korai szakaszában hosszabb ideig volt folyékony víz (2. ábra). Erről e kötet lapjain *Kereszturi Ákos* cikkében olvashatunk (Kereszturi, 2021).



2. ábra: A Mars mostani alakja. A Mars ősi tengerét az északi félgömb óriási mélyedése foglalhatta magába (Sterne und Weltraum, 2001/7 melléklet).

Figure 2: The recent figure of Mars. The huge cavity of the northern hemisphere might include the ancient sea of Mars.

A Jupiter és a még távolabbi bolygók holdjainak felszínén pedig a víz jége adja a felszín sziklaít, s minél messzebb vagyunk a Naptól, annál keményebb sziklaalkotó a H<sub>2</sub>O-jég.

Mostanában azonban több bolygóttest, így jégholdak (Europa, Ganymedes, Callisto, Enceladus, Titán, 5. ábra), sőt törpebolygók, mint a Ceres és a Plútó is gyanúba került, hogy felszínük alatt – mélyen – globális vízóceánok létezhetnek. Ilyen szilárd-felszín alatti globális vízréteg létét először a Jupiter Europa holdján (3. ábra, bal oldal) tételezték fel, ahol a vízréteg vastagságára a számítások mintegy 100 km-t adtak.



3. ábra: A Jupiter Europa, Ganymedes és Callisto holdjai.

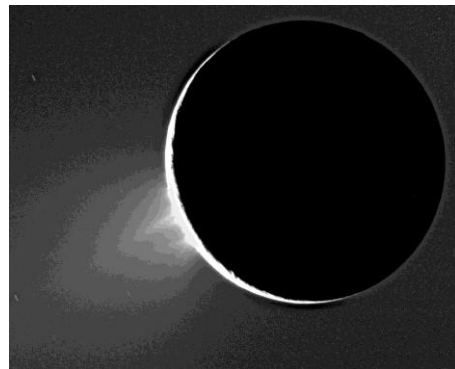
Figure 3: The moons Europa, Ganymede and Callisto of Jupiter.

A Jupiter körül 1995-től 2003-ig keringő Galileo-szonda képei alapján az Európán a víz feletti vízjég-kéreg vastagságát 2–20 km-nek becsülték (Greenberg, 2005). A Galileo-szonda mágneses méréseiben a Ganymedes (3. ábra, közepén) és a Callisto (3. ábra, jobb oldal) holdak környezetében a Jupiter mágneses terében gyenge zavarokat találtak, amit csak e holdak belsejében keletkezett indukált mágneses térrel lehetett magyarázni. E magyarázathoz mindkét holdnál mintegy 150 km mélységben egy 100 km vastag, globális vízréteget kellett feltételezni (Kramer, 2015).

A Szaturnusz körül 2004-től 2017-ig keringő Cassini-szonda meglepő képeket továbbított az Enceladus holdról (4. ábra és 5. ábra). Gejzír kispriccelések látszottak a kicsi, 500 km átmérőjű hold felszíne felett 800 km magasra. Ekkora égitestről korábban még azt sem tételeztük volna fel, hogy van annyi hőtartaléka, hogy a gömbalakot felvegye. E holdnál is kell tehát lennie egy felszín alatti óceánnak, hogy ez a gejzírpriccelés létre tudjon jönni.

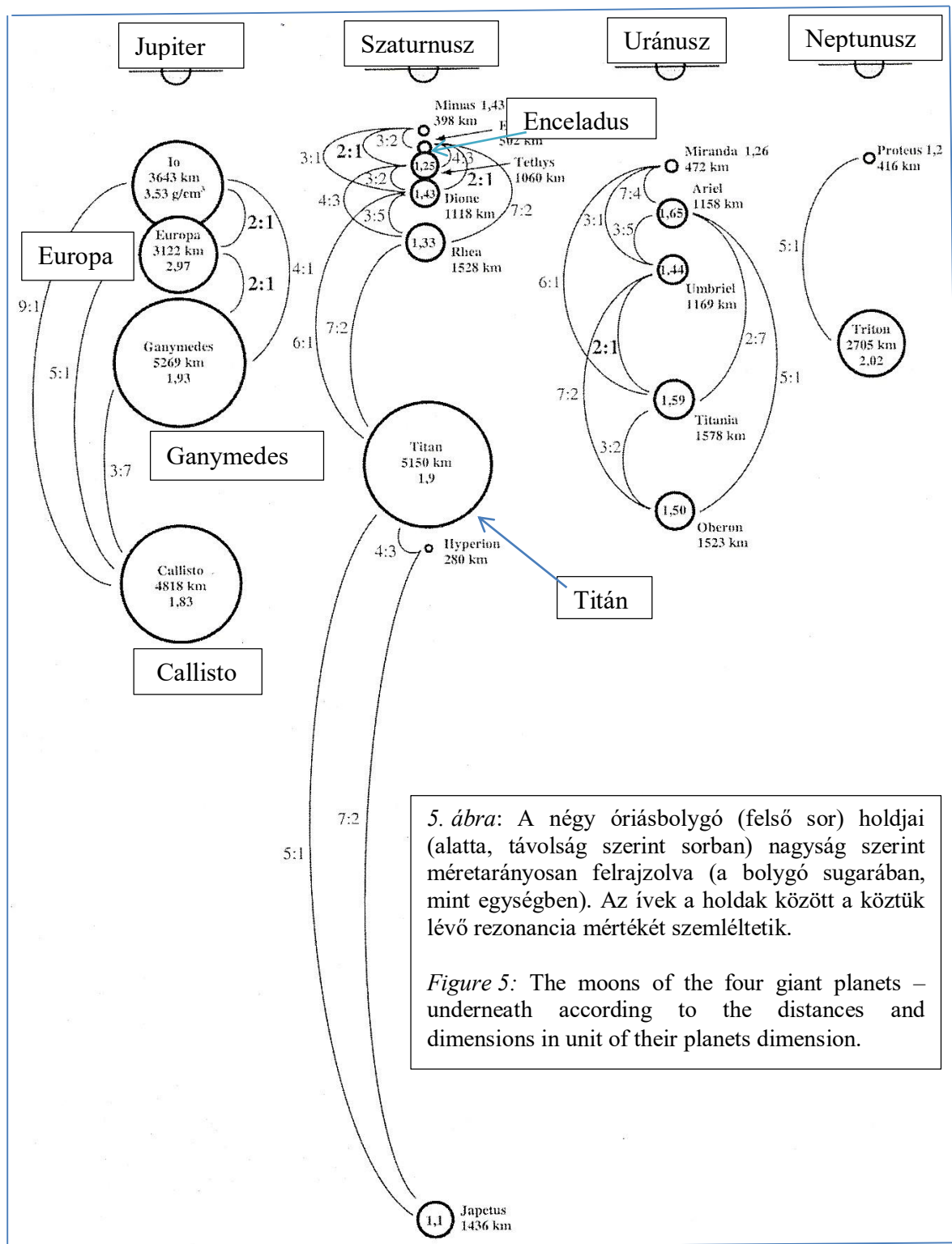
4. ábra: A Szaturnusz Enceladus holdja egy ellenfényben jól látszó gejzírrel.

Figure 4: The moon Enceladus of Saturn with a geyser seen in backlight.



A Szaturnusz holdjai közül egyedül a Titán elég nagy ahhoz, hogy összemérhető legyen a Jupiter nagyholdjaival (5. ábra). Furcsának tekinthető tehát, hogy a Cassini-szonda mágneses

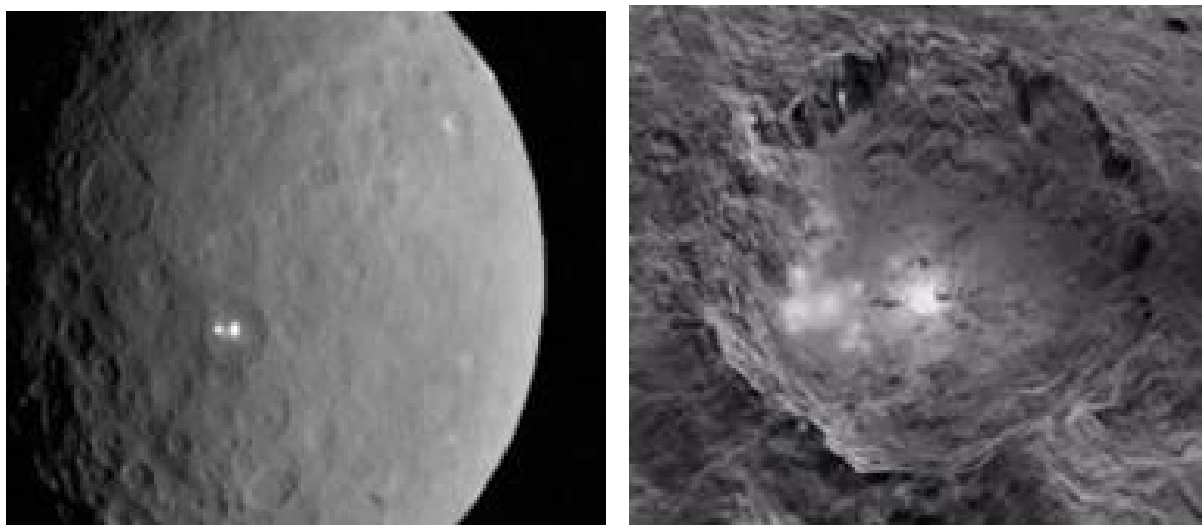
mérései a Titán hold körül nem jeleztek indukált mágneses teret. Igaz, hogy a Szaturnusz mágneses tere gyengébb, mint a Jupiteré, és ezért talán a keletkezett indukált mágneses tér kimutatásához a használt magnetométerek pontossága nem volt elegendő.



Az is igaz, hogy a Titánnak nincs egy nagyobb holdtársa (5. ábra), amivel rezonanciában mozogna, és ami árapályfűtést „csalna ki” a Szaturnusból a Titán számára, mint ahogy az Io az Europa, vagy az Europa a Ganymedes számára a Jupiterből. De érdekes ugyanakkor, hogy

annak ellenére, hogy a Callisto nincs erős rezonanciában egyik holddal sem (5. ábra), mégis volt indukált mágneses tér körülötte, ami a belsejében globális vízrétegre utalt. Ez korábban még nem tűnt fel senkinek.

Csillagász körökben aztán nagy megdöbbenést keltett, amikor a 2015-től a Ceres körül keringő Dawn-szonda képei és mérései a Nap-körüli pályáját egyedül rová Ceres törpebolygó esetében kriovulkanizmust, tehát vízfeltörést jeleztek (6. ábra; Ruesch et al., 2016), ami egy, a mélyben elhelyezkedő óceánra utal (Ruesch et al., 2016). Ez azt sejteti, hogy még árapályfűtés nélkül is, még egy, a Naprendszer keletkezése óta hűlő, törpebolygó méretű kis testnek is van annyi hőtartaléka, amennyi egy mélyben elhelyezkedő vízóceán léteéhez szükséges. Ezt korábban senki sem gondolta volna. Ennek a fényében nem csoda hát, hogy az árapályfűtéssel nem rendelkező, ötször nagyobb Callisto belsejében is van folyékony vízréteg.



6. ábra: A Ceres törpebolygó.

Figure 6: The dwarf planet Ceres.

A nemzetközi irodalomban a mélyen elhelyezkedő, elzárt, globális méretű vízrétegeket is óceánoknak nevezik, mégpedig *felszín alatti globális óceánoknak*.

Az eddigiekben hidroszférákkal, tehát H<sub>2</sub>O-alapú óceánokkal foglalkoztunk. Vagyis kerestük, hogy hol van víz. Most következnek a nem-víz alapú folyadékszférák.

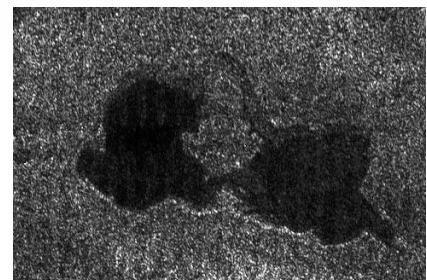
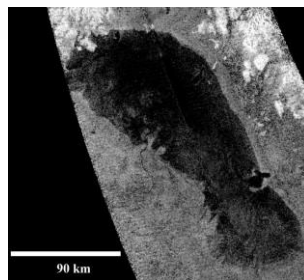
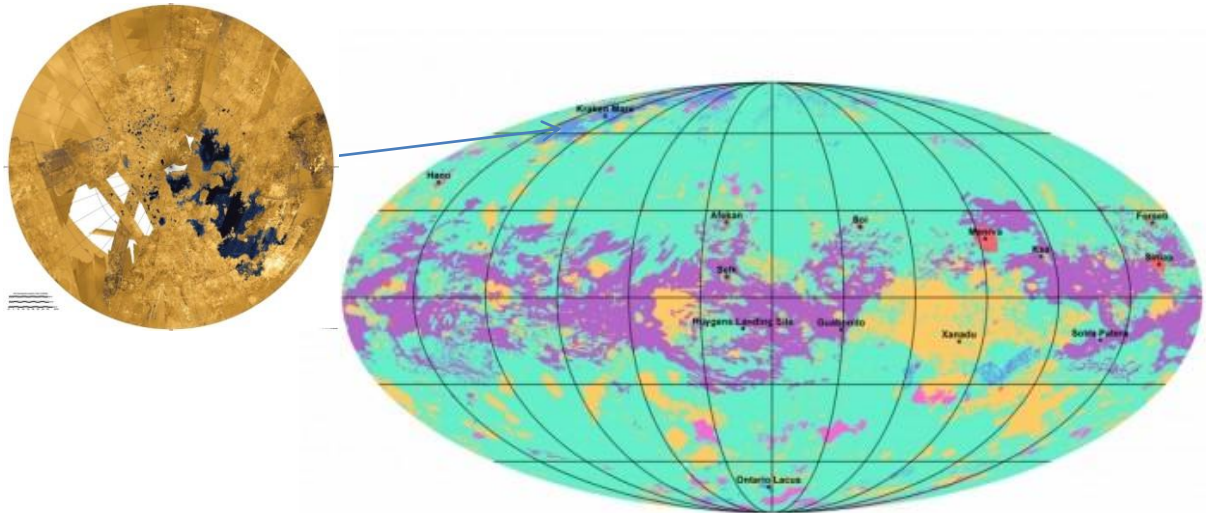
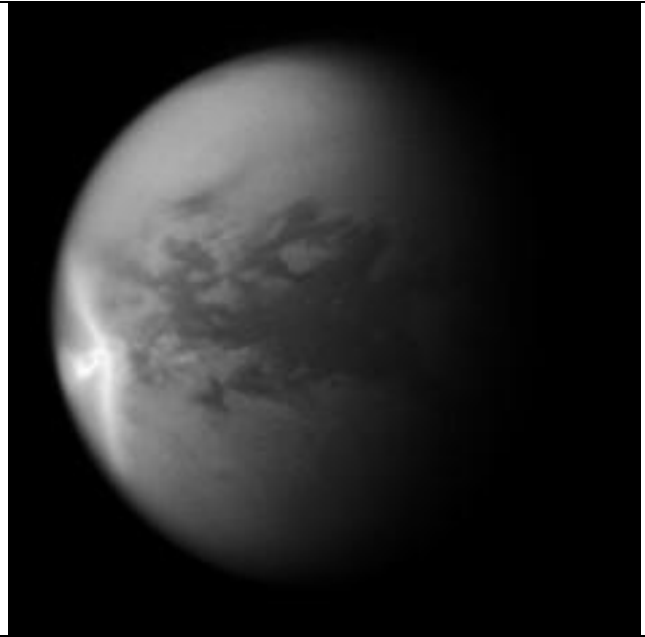
### Nem-víz alapú folyadékszférák a Naprendszerben

Nemcsak víz lehet a folyadék egy égitesten, hanem attól függően, hogy milyen az égitest felszíni hőmérséklete, vagyis, hogy milyen távol van a Naptól, más illóanyag is lecsapódhat, és folyadéktesteket képezhet a felszínen, vagy akár egy jégréteg alatt. Az összehasonlító planetológiában ezért szükséges olyan kifejezéseket használni, amelyek más anyagú folyadékok esetében is alkalmazhatóak, mint a víz. Tehát a hidroszféra helyett most folyadékszféra vagy *liquidoszféra* kifejezésre térünk át. Tekintsük át röviden, hogy a földi hidroszférán kívül milyen más folyadékszférákról van tudomásunk a Naprendszerben a bolygótestek felszínén!

A Cassini-szonda képeinek, radarképeinek és méréseinek jóvoltából ismerhettük meg a Szaturnusz bolygó rendszerét, és azon belül is a holdak közül legjobban a Titánt (7. ábra).

7. ábra: A Szaturnusz Titán holdja napéjegyenlőség idején. A bal oldali nyíl-alakú fehér folt egy viharfelhő.

Figure 7: Saturn's Titan at the time of equinox. The white patch at left is a storm cloud.



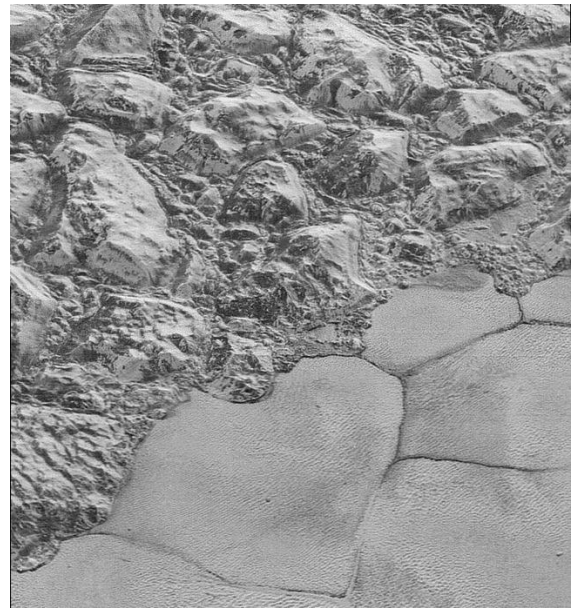
8. ábra: A Titán északi poláris területe a tavakkal (balra fent), négy tó a déli pólus környékéről (lent), és a Titán geomorfológiai térképe (jobbra fent). Ezen a kék szín jelzi a metán-etán tavakat (Lopez et al., 2019).

Figure 8: The North Polar Region of Titan with lakes (top left), four lakes from the South Region (bottom) and the geomorphologic map of Titan (top right). The blue color marks the methane-ethane lakes (Lopez et al., 2019).

Ez amiatt történt, hogy a Szaturnusz holdrendszerén belül a Titán az egyetlen nagy hold (5. ábra), amelynek gravitációs ereje könnyen lehetővé tette a Cassini-szonda pályamódosításait. Vagyis ahhoz, hogy a sok kisebb hold mindegyikéhez pályamódosítással eljusson a szonda, mindig vissza kellett térnie a Titánhoz. E sok-sok visszatérés során a Titán mindig más-más oldalát fordította a szonda felé, így egy nem egészen teljes és nem egyenletes lefedettségű, de globális geomorfológiai térképet lehetett elkészíteni a Titán felszínéről (8. ábra). E térképen jól látható, hogy *vannak* tavak a felszínen, – ahogy várták, metán-etán folyadékkal töltve – de csak a Titán poláris vidékein. Ez azzal magyarázható, hogy a Titán jelenlegi felszíni hőmérsékletén a metán-etán folyadék számára az egyenlítői és közepes szélességek „trópusinak” számítanak, tehát ott kiszáradnak a tavak.

Ami a poláris vidékeket illeti, a Cassini-szonda keringésének kezdetén (2004), a déli poláris vidéken lehetett fotózni, mert ott volt a nyár, ott sütött a Nap. A keringési idő utolsó szakaszában (2017) – egy szaturnuszi félv év múlva – viszont az északi poláris vidéken lehetett fényképezni, mert ott volt a nyár, ott sütött a Nap. Ekkor vált nyilvánvalóvá, hogy sokkal több tó van a Titán északi poláris vidékén, mint a délin. Hogy ez a hemiszférikus aszimmetria mivel magyarázható, azon a következő mérési lehetőségig törhetik a fejüket a kutatók.

A Titánnak tehát ma egy metán-etán folyadékszférája van a felszínén, amely sok tóból áll, de nincs közöttük összeköttetés, átfolyás. A magassági mérések szerint viszont a tavak felszíne azonos ekvipotenciális felületen van (Corlies et al., 2017). Ha ez azt jelenti, hogy az alattuk lévő „talajvíz” segítségével összeköttetés van közöttük, akkor együtt mégis egy „világóceánt” képviselhetnek.



9. ábra: A New Horizons-szonda képe a Plútóról. A jobb oldali fotó a „tengerpartot” mutatja. Itt a síkvidék (jobb alsó sarok) a metán-tenger jege, amelynek összeáramlási vonalait jelzik a lineamentumok. A parton kívüli sziklák anyaga vízjég lehet.

Figure. 9: Pluto on a picture of New Horizons. The photo on the right side displays a seaside. Here the plain (lower right corner) is the ice of methane-sea, the stream lines on which are signed by lineaments. The material of the rocks outside the shore may be water ice.

A New Horizons-szonda, amely 2015. július 14-én száguldott el a Plútó mellett, szerencsére egy nagyon érdekes oldalról (9. ábra) tudta lencsevégre kapni a Nap korábban bolygójának, majd kisbolygójának, végül törpebolygójának tekintett égitestjét. Mégpedig az

az oldal fordult véletlenül a szonda felé, ahol egy ferde becsapódás nyoma látszik (egy szív-alakú fehér folt bal oldali fele) két lepkeszárnyyszerű vízjég-törmelékterítővel. Ez a nagyon lapos szögű becsapódás átszakítva a kérget feltárta a felszín alatti metán-óceánt. Ez az így létrejött kráter belsejében jégkéreg alatti tengerként maradt meg a Plútó felszínén.

## Összefoglalás és következtetés

A Naprendszerbeli bolygótestek (szilárd felszínű bolygók és a kb. 400 km-nél nagyobb holdak, törpebolygók) felszínén sehol sem fordul elő *globális óceán*, de a jégfelszín alatt (hidroszféra, Europa), vagy mélyen a felszínük alatt (hidroszféra, Ganymedes, Callisto, Enceladus, Ceres) igen. *Nem-globális, felszíni óceán* viszont előfordul (hidroszféra, Föld). A *felszínen csak tavak formájában* lévő folyadékszférája van a Titánnak (metán-etán), vagy jégkéreg alatti folyadékszférája van a Plútónak (metán), vagy volt a Marsnak (hidroszféra). A felszínen csak tavak formájában megjelenő folyadékszféra esete pedig azt jelenti, hogy a bolygótest felszínén nem összefüggő a folyadékszféra, és nem terjed ki az egész felszínre. Miután légkörrel rendelkező bolygó felszínén sehol máshol nincs óceányi méretű szabad folyadékfelszín, így az óceán és légkör közötti kölcsönhatás csak a Földön tanulmányozható a Naprendszerben.

## Hivatkozások

- Corlies, P., Hayes, A.G., Birch, S.P.D., Lorenz, R., Stiles, B.W., Kirk, R., Poggiali, V., Zebker, H., 2017: Titan's topography and shape at the End of the Cassini Mission. *Geophysical Research Letters*, 44(23): 11754–11761. <https://doi.org/10.1002/2017GL075518>
- Futera, Z., Yong, X., Pan, Y., Tse, J.S., English, N.J., 2017: Formation and properties of water from quartz and hydrogen at high pressure and temperature. *Earth and Planetary Science Letters*, 461: 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.12.031>
- Greenberg, R., 2005: *EUROPA – The Ocean Moon*. Springer Praxis, Chichester, UK, 2005. ISBN 978-3-540-27053-9
- Kereszturi, Á., 2020: A marsi hidroszféra jellemzői. *Egyetemi Meteorológiai Füzetek*, 32 (Szerk.: Weidinger, T.): 67–72. (Jelen kiadványban.) <https://doi.org/10.31852/EMF.32.2020.067.072>
- Kramer, M., 2015: Jupiter's Moon Ganymede Has a Salty Ocean with More Water than Earth. space.com, March 12. 2015.
- Lopez, R.M.C., Malaska, M.J., Schoenfeld, A.M., Solomonidou, A., Birch, S.P.D., Florence, M., Hayes, A.G., Williams, D.A., Radebaugh, J., Verlander, T., Turtle, E.P., Le Gall, A., Wall, S.D., 2019: A global geomorphologic map of Saturn's moon Titan. *Nature Astronomy*, 4: 228–233. <https://doi.org/10.1038/s41550-019-0917-6>
- Ruesch, O., Platz, T., Schenk, P., McFadden, L. A., Castillo-Rogez, J. C., Quick, L. C., Byrne, S., Preusker, F., O'Brien, D.P., Schmedemann, N., Williams, D., Li, J.Y., Bland, M., Hiesinger, H., Kneissl, T., Neesemann, A., Schaefer, M., Pasckert, J. H., Schmidt, B.E., Buczkowski, D.L., Sykes, M.V., Nathues, A., Roatsch, T., Hoffmann, M., Raymond, C.A., Russell, C.T., 2016: Cryovolcanism on Ceres. *Science*, 353(6303): aaf4286. <https://doi.org/10.1126/science.aaf4286>

## Internetes hivatkozások

Az űrszondák égitestekről közölt felvételeinek a forrása a NASA JPL honlapja – <https://photojournal.jpl.nasa.gov/>



Sterne und Weltraum, 2001/7 – <https://www.spektrum.de/shop/sterne-und-weltraum/archiv/>

1. ábra: A Föld az északi és a déli pólus irányából – [bluemarble\\_south-pole.jpg](#)

– [bluemarble\\_north-pole.jpg](#)

3. ábra: Europa – <https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegPIA00502.jpg>

Ganymedes – <https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegPIA00716.jpg>

Callisto – <https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegPIA03456.jpg>

4. ábra: Enceladus – <https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegPIA07758.jpg>

6. ábra: Ceres – <https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegPIA18920.jpg>

Ceres Occator kráter – <https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegPIA19889.jpg>

7. ábra: Titán – <https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegPIA12817.jpg>

8. ábra: A Titán északi poláris területe – <https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegPIA17655.jpg>

Déli tavak: <https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegPIA17655.jpg>

... .. <https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegPIA08740.jpg>

<https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegPIA06240.jpg>

A Titán geomorphológiai térképe.

<https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegPIA11709.jpg>.

9. ábra: Plútó totál: <https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegPIA11709.jpg>

Plútó tengerpart: <https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegPIA20198.jpg>