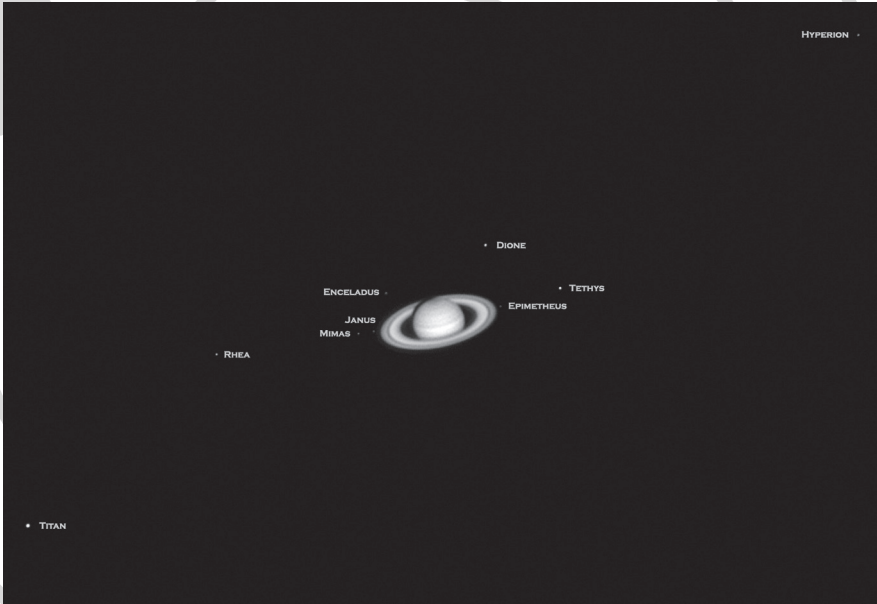


## Az Enceladus forrásai

A Földön kívüli élet keresése a csillagászat legnagyobb kérdései közé tartozik. Napjainkban sok földi és űrtávcső kutatja a Naprendszeren túli messzeséget, hogy a távoli csillagok körüli lakhatósági zónákban keringő bolygókat keressen. Ezeket a bolygókat tervezünk és igyekszünk biomarkereket azonosítani, amiben nagy segítségünkre van a rohamosan fejlődő technológia. Ugyanakkor figyelmesen kutatva Naprendszerünkben is találhatunk élet hozozására alkalmas helyszíneket.

ges állapot. Ha ez az időablak túl rövid, a prebiotikus fejlődés nem képes végbemenni, legyártani azokat a kémiai anyagokat, amelyek az élet megszületéséhez szükségesek.

Feltehetnénk a kérdést, vajon nem lenne ésszerűbb olyan bolygók után kutatni, amelyek hasonlítanak Földünkre? Az ilyen égitestek csillaguk körül a lakhatósági zónában keringenek, a felszínükön található folyékony víz, rendelkeznek megfelelő összetételű légkörrrel és elég stabilak ahhoz, hogy ez az idilli állapot sokáig fennmaradjon.



A Szaturnusz és fényesebb holdjai Sebestyén Attila felvételén, 2019. szeptember 21-én. Az Enceladus 11,5 magnitúdós fényességével a nehezebben észlelhető Szaturnusz-holdak közé tartozik

Az általunk ismert életformák kialakulásához elengedhetetlen a folyékony víz, ásványi alkotóelemek, szerves molekulák és más környezeti tényezők együttes jelenléte. További fontos kérdés, hogy mennyi ideig marad fenn az élet kialakulásához szüksé-

son. A válasz természetesen igen. Ezért is vizsgálják a csillagászok a tőlünk távol eső exobolygók közül a Földhöz hasonlókat. Ugyanakkor találkozhatunk az életnek a mai földfelszínen láthatótól eltérő megjelenési formáival, melyek nem függenek a

## meteor

napfénytől, alkalmasint olyan szélsőséges környezetekben is megélnék – sőt szaporodnak –, mint az Antarktisz extrém száraz völgyei, a spanyolországi Tinto-folyó savas vize, vagy épp a kaliforniai Halál-völgyének sókristályai. Ezek az extremofilek.

A Naprendszerben nincs más, a Földhöz hasonló bolygó, amely otthont adhatna a felszínén gazdagon burjánzó ökoszisztémának. A Merkúr egyik oldala túl forró, a másik túl hideg, nincs légköre, folyékony vize, ráadásul óriási a felszínét érő besugárzás. A Vénusz hasonlóan pokoli helyszi: savas légköre pokolian forró. Még a Marsban van a legtöbb „asztrobiológiai potenciál”: jó esély van rá, hogy ha nem is a felszínén, de a mélyebb rétegekben, vagy a



Holdsarlók és Szaturnusz-gyűrű: fent az 504 km átmérőjű Enceladus, alatta az 1064 km-es Thetis. A Cassini-szonda felvétele 2011. szeptember 13-án készült. A felvétel készítésének idején az űreszköz az Enceladustól 272 ezer, a Thetistől pedig 208 ezer km-re járt (NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute)

nemrégiben radarmérésekkel felfedezett jég alatti tavakban találhatunk életnyomokat.

Ha az élet kialakulására alkalmas helysziint keresünk, érdemes ellátogatnunk Naprendszerünk kolosszusaihoz, a gázóriásokhoz. A Szaturnusz nem tűnik barátságos, hívogató világnak, holdjai némelyikén mégis érdemes vizsgálódnunk. Az újabb kutatások szerint az Enceladuson, a vas-tag jégtakaró alatt folyékony víz található.

A holdat a sajátos keringési pályája miatt árapályerők fűtik, ami gondoskodik az égitest belső hőtermeléséről. Az eredmény egy – enceladusi léptékkal mérve hatalmas – jég alatti óceán lehet.

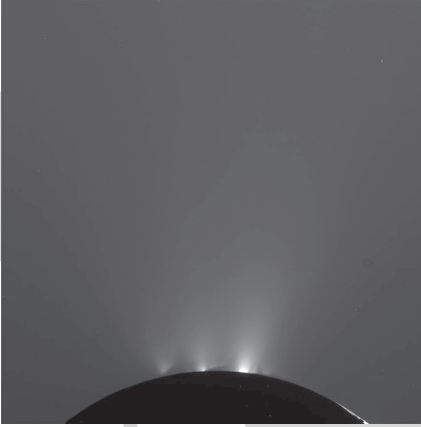
Az Enceladus a Szaturnusz tizennegyedik kísérője. Az E gyűrűben keringő holdat William Herschel fedezte fel 1789-ben. (Vajon gondolta akkor, hogy amit lát, az a földönkívüli élet kutatásának színtere lesz valamikor?) Hosszú évszázadokon át csak nagyon keveset tudtunk a gázóriás égi kísérőiről, és bár a Voyager-szondák, valamint a Hubble-úrteleszkóp segítségével részletesebb képet kaphattunk róluk, az igazi áttörést a Szaturnusz és az Enceladus esetében is a Cassini–Huygens-program hozta el számunkra.

A Cassini hosszú ideig keringett a Szaturnusz körül, működése során számtalan mérést végzett és képet készített a bolygóról és holdjairól. A szonda elsődleges feladata a bolygó és a holdak vizsgálata volt, illetve eljuttatni a Huygens elnevezésű leszállóegységet a Titan felszínére. Akkoriban ez a hold ígérkezett az egyik legérdekesebb kutatási célpontnak, mivel alig voltak fogalmaink, vajon mit rejthet az átláthatatlanul sűrű légkör. Senki sem volt felkészülve arra, hogy egy másik, tized akkora méretű, jeges felszínű hold szintén a tudományos érdeklődés középpontjába kerülhet.

A Cassini-űrszonda megfigyelései arra engednek következtetni, hogy az Enceladus bizonyos tulajdonságai hasonlóak lehetnek az ősi Földön az élet megjelenésekor uralkodó állapotokhoz. A szonda 2005-ben küldött először részletes képeket a hold déli poláris régiójáról. A képeken egy fiatal, becsapódási kráterektől szinte teljesen mentes, összetett felület bontakozik ki a szemünk előtt, ahol a tektonikus aktivitásból származó hő megújítja a felszínt. A képeken tisztán kirajzolódott, hogy a jég alól „gejzírek” törnek fel, vagyis minden bizonnyal víz található a hold jégpáncélja alatt!

Ha extraterresztriális életet keresünk, érdemes megvizsgálunk az ősi Földet, az azon

uralkodó körülményeket. A kéreg megszilárdulását követően a légkör lehűlésével együtt óceánok jöttek létre, melyek tartósan megmaradtak a felszínen. A légkör összetétele jelentősen különbözött mai formájától: elsősorban szén-dioxidból, nitrogénből és vízgőzből állt, valamint kis mértékben tartalmazhatott metánt, ammóniát, kén-dioxidot és sósavat. Hátborzongató belegondolni, hogy ez az – elsősorban vulkáni gázokból keletkezett – ellenségesnek tűnő légkör volt a földi élet bölcsője.

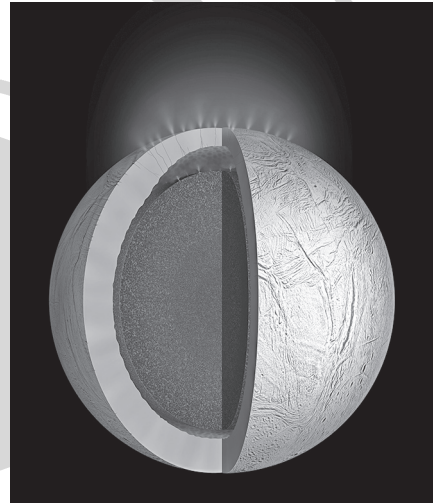


Az Enceladus ellenfényben (jobbra a hold hajszálvékony sarlójának csúcsa). A kilövellések rendkívül látványosak ilyen megvilágításnál. A Cassini felvétele 2011. október 1-jén készült (NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute)

A Cassini egyik 2008-as közelítése során a szonda mintát vett az Enceladus déli pólusánál felfedezett kiáramlások anyagából. Bár a műszereit nem erre a célra tervezték, az eredmények mégis megdöbbentőek voltak. A mérések szerint a kísérőből távozó anyag elsősorban vízgőz, metán, szén-dioxid és ammónia. A kitorló anyag jó része az alacsony gravitáció miatt örökre elhagyja a holdat, szétszóródik az E gyűrűben. A vizsgálatok arra engednek következtetni, hogy az Enceladus óceánjában nátriumsók találhatóak, ami kritikus az élet kialakulása szempontjából. Ugyancsak meglepő volt a szerves molekulák aránya, mely a várako-

zásokhoz képest hússzor nagyobbak bizonyult.

A szonda mozgásának Doppler-effektuson alapuló gravitációs mérései ugyancsak megerősítették, hogy a déli pólus 30–40 km vastag jége alatt egy 10 km mély, sós óceán található. A legfrissebb kutatások szerint ez a folyékony víztömeg akár egymilliárd évesnél is idősebb lehet, amely az árapály-fűtésnek, a fagyáspontot csökkentő vízben oldott anyagoknak, a jég nyomásának, valamint óriási tömegének köszönhetően igen lassan fagy meg.



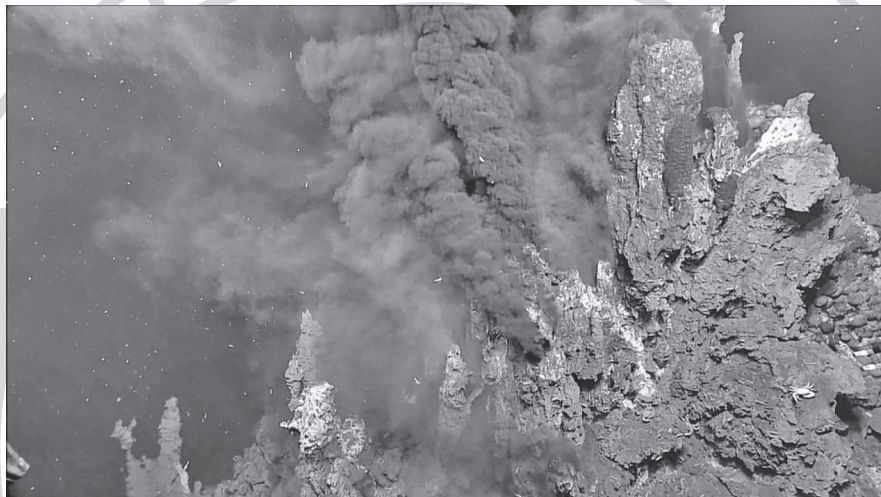
Az Enceladus szilárd kőzetmagja és a külső vízgépkéreg között a tudósok feltételezése szerint folyékony, sós vízű „óceán” található (solarsystem.nasa.gov)

A mérések szerint a gejzirekből származó vízgőz hidrotermális folyamatokra utaló összetevőket (szemcséket) tartalmaz. Az Enceladus aktív kőzetmagja valamilyen mértékben reakcióba léphet a vízzel. A földihez hasonló lemeztectonikai folyamatok következtében magas víztartalmú kőzet juthat a mélybe, majd a víz idővel utat tör a felszín felé. Az óceáni aljzatból feltörő forró (3–400 °C) kiáramlás tápanyagokat old ki a kőzetekből. Hőmérsékletüktől és az oldott tápanyagok mennyiségétől függően – a föld-

## meteor

dihez hasonló, vagy annál magasabb – tornyokat emelhetnek a tengerfenékre: ezek a képződmények a fehér, vagy fekete füstölők. A fehér füstölők hűvösebb vizet áramoltatnak, míg fekete társaik dús tápanyagforrásként szolgálnak. Jellemzően sajátos, a felszíntől merőben eltérő ökoszisztéma alakul ki a kiáramlások közvetlen környe-

paramétereiktől, mint hőmérséklet, pH, víz elérhetősége stb. Egy földméretű kőzetbolygón valószínűleg nagyobb eséllyel mennek végbe a szükséges reakciók, mint egy 500 km-es holdon. Mindazonáltal az Enceladus egymilliárd évesnél is idősebb óceánja mindenképp ígéretesnek tűnik a földönkívüli élet keresése szempontjából.



A hidrotermális kiáramlások (fehér vagy fekete füstölők) igazi oázisok bolygónk mélytengeri élőlényei számára (usgs.gov)

zetében, amely akár több száz fajt számláló életközösségnek is otthont adhat. A Földön a tápláléklánc legalján kemoszintézist végző baktériumok találhatóak itt, ezeket követik a velük táplálkozó puhatestűek, csigák, gyűrűsférgék, kagylók és rákok sora. Mindez a felszíntől szinte teljesen elszigetelt környezetben, teljes sötétségben, óriási nyomás alatt történik.

A Földön az élet megjelenése 3,5-4 milliárd évvel ezelőttre tehető. Ha a világtenger kialakulását a bolygó megszületése utáni 100-150 millió évre kalkuláljuk, kiténik, hogy a csillagközi térben keletkezett, azóta is megtalálható szerves molekulák jelenlétében a prebiotikus fejlődés mintegy 0,5-1 milliárd évet tehet ki. Ez természetesen függ a rendelkezésre álló anyagok mennyiségétől és koncentrációjától, továbbá a környezeti

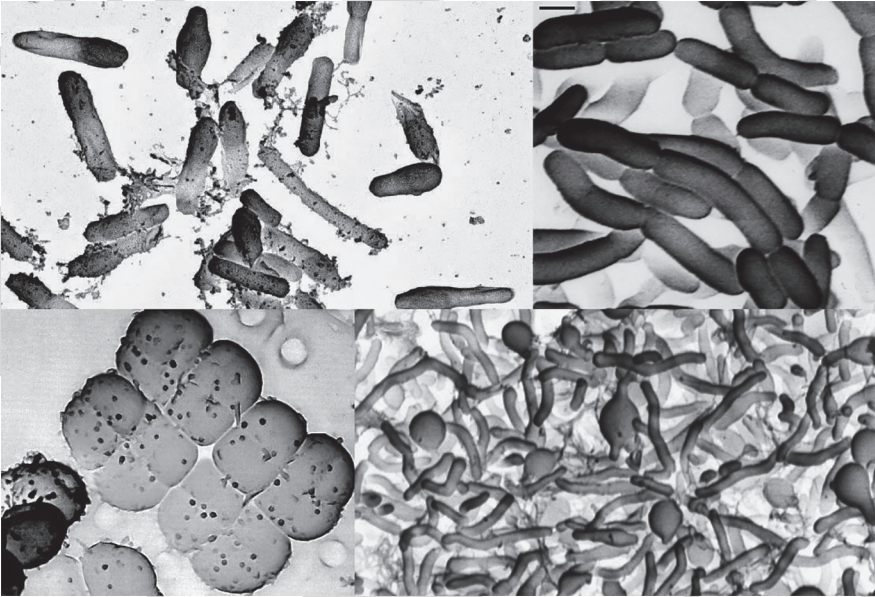
Élőlények elméletileg nem csak a tengerfenéken létezhetnek az Enceladuson. A folyamatosan megújulásáról tanúszkodó jégréteg anyagáramlásra enged következtetni. A Földön ismertek olyan egysejtű élőlények, amelyek a permafrosztban, az örökké fagyott talajban élnek. Bár a jég homogénnek mutatkozhat, valójában nem teljes egészében fagyott, a hőmérséklet függvényében tartalmazhat néhány százaléknyi folyékony vizet a jégben található szemcsék felületén. Mindez elenyészően kevésnek tűnhet, de talán mégis elegendő az élethez.

A Cassini-űrszondát sajnos nem szerelték fel olyan műszerezettséggel, hogy érdemben vizsgálhassa az Enceladus hold jeges felszíne alól kiáramló anyagok pontos összetételét, melyből következtetéseket lehetne levonni a biomarkereket illetően. Ez

a feladat a jövő szondáira vár. Előkészítésük folyamatban van, még ha csak a tervezőasztalon is.

A NASA Enceladus Life Finder szonda megvalósítását 2015-ben javasolták először, majd 2017-ben bekerült a New Frontiers programba. Amennyiben megvalósul, akkor az Enceladus gejzíreit fogja vizsgálni. A

rencsének köszönhető. Elmélete szerint az élet kialakulása a természet törvényeinek következménye, ami „csak annyira kevésbé meglepő, akárcsak a domboldalon lefelé guruló kő”. Ennek nyomán joggal reménykedhetünk, hogy ahol csak rendelkezésre állnak a megfelelő anyagok és körülmények, az élet utat fog törni magának.



Balra fent: termofil (magas hőmérsékletet kedvelő) baktérium; jobbra fent: extrém sós környezetet kedvelő, ún. halofil (*Halobacillus Karajensis*); balra lent: magas sugárzásnak ellenálló baktérium (*Deinococcus Radiodurans*); jobbra lent: hidegkedvelő, ún. kriofil baktérium

szonda három évre tervezett vizsgálatainak során nyolc-tíz alkalommal halad át a gejzírek kilövellésein, mérve azok összetételét. Elemezni fogja az esetlegesen megjelenő aminosavakat, az élet alapvető építőköveit. Ezen túl vizsgálja majd, hogy a mintákban korábban is megtalált metán származhat-e biotikus folyamatokból.

Az MIT egyik munkatársa, Jeremy England nemrégiben újszerű javaslattal állt elő, amely szerint az élet kialakulása és későbbi fejlődése nem valamiféle ösvesznek, villámlásnak és hatalmas adag sze-

Linda Spilker, a Cassini projekten dolgozó egyik tudós szavait idézve “Minél többet tanulunk az Enceladusról és elemezzük a különböző eszközök által összegyűjtött adatokat, annál több bizonyítékot találunk egy életre alkalmas óceánvilág létezésére.” Az Enceladus messze a Nap lakhatósági zónáján túl kering. Ha ezen a távoli holdon valóban élőlényeket találunk a jövőben, az tovább tágítja majd az Univerzumban található élet kutatásának lehetőségeit.

*Talabér Gergely*