

# ÉLET EGY CSILLAG HALÁLA UTÁN: URABILITÁS A GALAKTIKUS SÖTÉTSÉGBEN

Fröhlich Viktória  
E-mail: frohlich.viktoria@csfk.org

A „lakhatóság” fogalma sokak számára ismerős lehet: általában olyan égitesteket nevezünk lakhatónak, amelyek felszínén a víz folyékony halmazállapotban fordulhat elő – vagyis a hőmérséklet nem túl magas, hogy a víz elpárologjon, és nem túl alacsony, hogy megfagyjon. A lakhatóság definícióját azonban gyakran kiterjesztik: vajon mely bolygók lehetnek a földihez hasonló élet otthonai, esetleg a jövő kolóniái?

A James Webb űrtávcsőnek és más modern eszközöknek köszönhetően ma már képesek vagyunk az élet építőköveinek jeleit is keresni távoli exobolygókon. De mit tekintünk egyáltalán „életnek”? És a létrejöttének melyek a legszükségesebb feltételei?

Az élet kialakulásához nem elég a megfelelő hőmérséklet és nyomás. Fontos többek között a sugárzási környezet, és elengedhetetlen egy folyékony oldószer, amely a kémiai reakciók mennyiségét és sebességét moderálja (elsősorban gyorsítja). Ezt a szerepet leggyakrabban a víz tölti be, de a Szaturnusz Titán nevű holdján előforduló metántavak arra engednek következtetni, hogy más molekulák is alkalmasak lehetnek folyékony katalizátornak.

Attól, hogy egy égitesten adottak a feltételek, még korántsem biztos, hogy valóban meg is jelenik rajta az élet. A pánspermia-elmélet például azt feltételezi, hogy a Földön az élet külső forrásból, meteoritok közvetítésével jelent meg. Azon égitestek leírására, ahol az élet külső beavatkozás nélkül kialakulhatott, Deamer és munkatársai tanulmánya alapján egy új fogalmat vezettünk be: urabilitás [1]. Az „ur-” előtag az ősi, eredeti lehetőséget hangsúlyozza; nem a meglévő élet fennmaradását, hanem az élet keletkezésének minimális fizikai, kémiai és energetikai feltételeit jelöli (1. ábra).

Urabilis környezeteket valószínűleg a Naprendszerben is találhatunk. A Jupiter Europa holdjának vastag jégpáncélja alatt például globális óceán rejtőzhet. Ha ebben valóban létrejött élet, akkor az nem kívülről érkezett, hanem helyben született, tehát az Europa urabilis.



Fröhlich Viktória csillagász mesterszakos hallgató az Eötvös Loránd Tudományegyetemen, emellett 2021 óta a HUN-REN CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézetében végez kutatómunkát Regály Zsolt témavezetésével. Kutatási területe széles körű: a végállapotú csillagok körül keringő bolygórendszerek stabilitásától a fehér törpék körüli gázkorongokon át a naprendszerbeli aszteroidákig terjed. Lelkes ismeretterjesztő és amatőr csillagász, a Vega Csillagászati Egyesület elnökségi tagja.

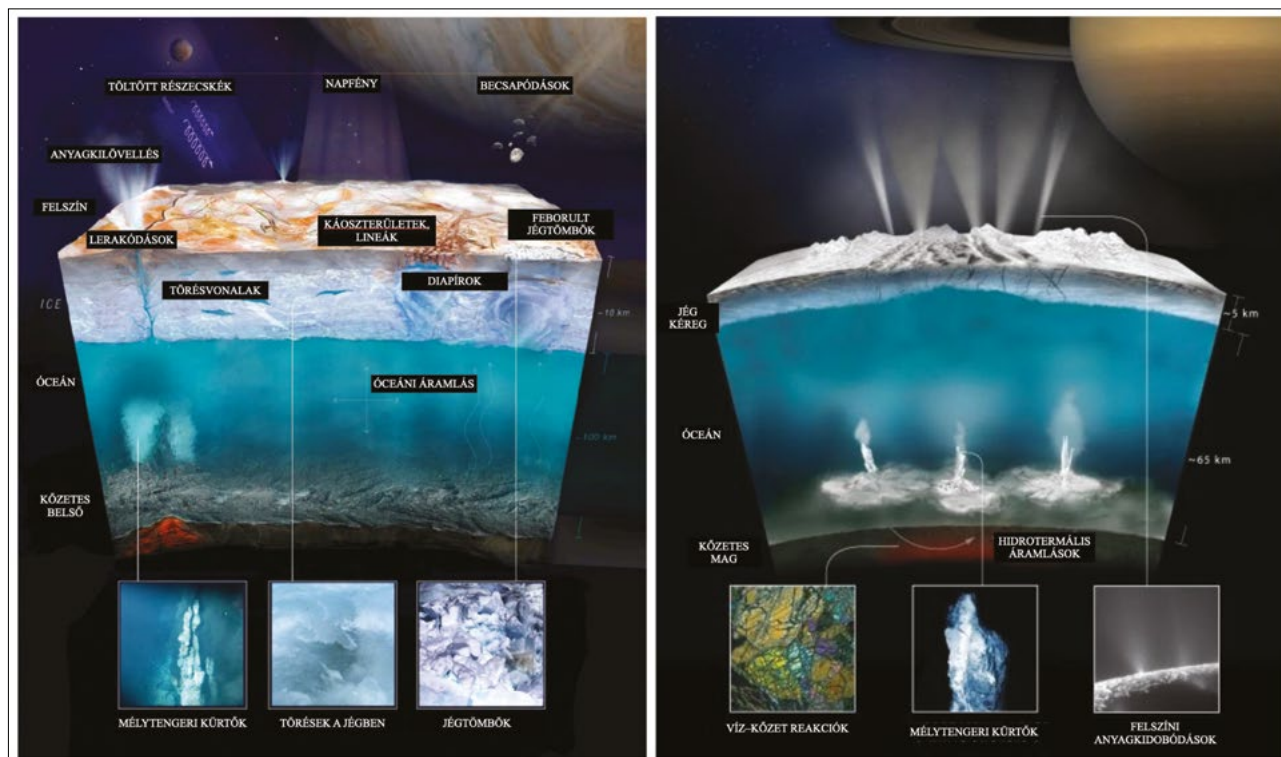
Ezzel szemben a Föld ma már nem megfelelő környezet az élet kialakulásához: többek között oxidáló légköre nem teszi lehetővé új életformák megjelenését (kivéve talán a mélytengeri kürtők környékét). Három és fél milliárd éve azonban más volt a helyzet: bolygónk urabilis környezetet kínált, és ekkor jelentek meg az első archeák.

Az óriásbolygók holdjai ezért kiemelt célpontok lehetnek az élet eredetének kutatásában. Erre a Naprendszerben is több példát találunk: az Europa mellett az Enceladus, a Miranda vagy a Mimas felszíne alatt is kiterjedt vízóceánok húzódnak [2, 3]. Az óceánfenék és a szilikátokban gazdag mag érintkezése továbbá lehetőséget biztosít a szerves molekulák és az energia utánpótlására. Ezeken a holdakon a kulcsszerep az árapályfűtésé. A holdak pályája excentrikus, ezért az égitest által érzékelt gravitációs tér periodikusan változik, ami belső feszültségeket és hőtermelést kelt – ez elég lehet ahhoz, hogy a vastag jégpáncél alatt fennmaradjon egy folyékony óceán. Bár eddig még nem sikerült egyetlen exohold felfedezését sem megerősíteni, elméleti modellek szerint ezek lehetnek a Galaxis leggyakoribb szilárd felszínű égitestjei (példának okáért saját Naprendszerünkben is láthatjuk, hogy a gázóriások körül temérdek hold kering).

Mára több száz olyan bolygót ismerünk, ami nem egy csillag körül, hanem magányosan kering a Galaxisban [4, 5]. Ezeket kóbor bolygóknak hívjuk, és számuk akár a csillaghoz kötött bolygók számát is meghaladhatja. Kialakulásukat két fő elmélet magyarázhatja. Az egyik szerint korai, a bolygókeletkezést kísérő dinamikai instabilitások szakítják ki őket a szülőcsillag rendszeréből. A másik elmélet szerint a bolygók pályája a csillagok halálakor bekövetkező jelentős tömegvesztés miatt perturbálódik: excentricitásuk egységnyi fölé nő, és elhagyják a csillagmaradványokat.

Kutatásomban, amelyet a HUN-REN CSFK Konkoly Csillagászati Intézetében, dr. Regály Zsolt témavezetésével végeztem, a fent említett második elméletet jártuk körül. Azt vizsgáltuk, vajon urabilisak lehetnek-e egy kóbor bolygó holdjai, miután a rendszer központi csillaga II-es típusú szupernóva-robbanásban elpusztult. Vajon a csillagtalan sötétségben, egy jégpáncél alatti óceánban létrejöhet az élet?

Numerikus modellek segítségével tanulmányoztuk, hogyan változik egy bolygó-hold rendszer pályája, ha a csillag II-es típusú szupernóvaként felrobban. A jelenséget többtest-integrátor és homológ köpenyvesztési modell ötvözésével vizsgáltuk. A robbanás során a csillag



1. ábra. Az Europa (balra), illetve az Enceladus (jobbra) holdak feltételezett keresztmetszete. Mindkét hold esetében látható, hogy a szilikátmag felett több tíz kilométer vastagságú folyékony óceán terül el, amely felett pedig jégkéreg található. A holdak pályája excentrikus, így a jégretek megolvadása és a vízóceán fennmaradása az árapályfűtésnek köszönhető. (Forrás: NASA/JPL-Caltech)

tömegének jelentős részét elveszíti, ami erősen perturbálja a bolygók és holdjaik pályáját.

A korábbi kutatásainkkal összhangban úgy találtuk, hogy a bolygók elszakadnak a csillagtól, és kóbor égitestekké válnak [6]. A holdak azonban meglepő módon mindig kötöttek maradtak bolygójukhoz, és továbbra is ellipszispályán keringtek körülötte. Ez azt jelenti, hogy ha a bolygónak eredetileg volt holdja, akkor az megmaradt a szupernóva-robbanást követően is. Ezeknek a holdaknak a kimutatása pedig elérhető közelségbe került a James Webb vagy a hamarosan induló Roman űrteleszkópok révén.

A holdak a szimulációk kezdetén körpályán keringtek, így árapályfűtés híján nem lehettek urábilisek. A csillag tömegvesztése következtében azonban pályájuk gyakran excentrikussá vált – excentricitásuk összemérhető lett az Europa vagy Enceladus excentricitásával. Ez pedig lehetővé teszi az árapályfűtést, immár csillagfény nélkül is. Így egy kóbor bolygó holdja akár urábilis is lehet.

Kiszámítottuk, mekkora árapályfűtés alakulhat ki a kóbor bolygó-hold rendszerekben, és ezeket összevetettük az Europa és Enceladus holdakkal. A modellek szerint a holdak mintegy 12–15%-ánál az árapályfűtés hasonló nagyságrendbe esik, mint az Európán vagy az Enceladuson becsült értékek. Ráadásul már egészen kis pályaeccentricitás ( $10^{-5}$ – $10^{-3}$ ) is biztosíthatja, hogy a felszíni víz folyékony állapotban maradjon, vagyis se ne fagyjon meg, se ne párologjon el.

Kulcskérdés, hogy a holdak excentricitása meddig marad fenn, ugyanis az excentricitás az árapályfűtés elsődleges előfeltétele. Számításaink szerint a kóbor bolygók holdjainak excentricitása rendkívül hosszú időskálán, akár a Naprendszer koránál is tovább fennmaradhat, ha a hold tíz bolygósugárnál távolabb kering a kóbor planétától. Ez azt jelenti, hogy az urabilitás nem egy pillanatnyi állapot, hanem évmilliárdokig is fennmaradhat.

Eredményeink alapján kijelenthető: az élethez szükséges minimális feltételek nem kizárólag csillagok környezetében jöhetnek létre. A galaxis sötétjében, magányosan sodródó kóbor bolygók holdjai is alkalmasak lehetnek arra, hogy élet szülessen rajtuk. E szerint az élet bölcsői sokkal változatosabb környezetekben is megjelenhetnek az Univerzumban, mint azt korábban gondoltuk. Eredményeinket az *Astronomy & Astrophysics* nemzetközi folyóiratban publikáltuk.

## Irodalom

1. Deamer D., Cary F., Damer B. (2022): *Astrobiology*, 22, 889.
2. Carr M. H., Belton M. J. S., Chapman C. R., et al. (1998): *Nature*, 391, 363.
3. Thomas P. C., Tajeddine R., Tiscareno M. S., et al. (2016): *Icarus*, 264, 37.
4. Miret-Roig N., Bouy H., Raymond S. N., et al. (2022): *Nature Astronomy*, 6, 89.
5. Pearson S. G., McCaughrean M. J. (2023): *arXiv e-print*. (?)
6. Regály Zs., Fröhlich V., Vinkó J. (2022): *The Astrophysical Journal*, 941, 121.