

töltheti el, hogy hozzájárulhattak korunk egyik jelentős űrprogramjának sikeréhez.

A magyar Kepler-csoportról (KIK: Kepler Investigations at the Konkoly Observatory) annak honlapján <http://www.konkoly.hu/KIK/> található további bőséges információ.

Irodalom

1. Szabó Róbert: Bolygóáradat és asztroszeizmológia – Elindult a Kepler-űrtávcső. *Fizikai Szemle* 59/4 (2009) 121.
2. D. O. Gough, J. W. Leibacher, P. H. Scherrer, J. Toomre, *Science* 272 (1996) 1281.
3. M. H. Montgomery, *Science* 332 (2011) 180.

4. W. J. Chaplin, H. Kjeldsen, J. Christensen-Dalsgaard és mtsai, *Science* 332 (2011) 213.
5. P. G. Beck, T. R. Bedding, B. Mosser és mtsai, *Science* 332 (2011) 205.
6. T. R. Bedding, B. Mosser, D. Huber és mtsai, *Nature* 471 (2011) 608.
7. W. F. Welsh, J. A. Orosz, C. Aerts és mtsai, *Astrophysical Journal* (2011) beküldve, arXiv:1102.1730
8. A. Derekas, L. L. Kiss, T. Borkovits és mtsai, *Science* 332 (2011) 216.
9. *Fizikai Szemle* 61/5 (2011) 180.
10. D.W. Kurtz, M. S. Cunha, H. Saio és mtsai, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 414 (2011) 2550.
11. J. A. Carter, D. C. Fabrycky, D. Ragozzine és mtsai, *Science* 331 (2011) 562.

UTAZHATNAK-E ÉLŐLÉNYEK A BOLYGÓK KÖZÖTT?

Kereszturi Ákos

Collegium Budapest és Magyar Csillagászati Egyesület

Elméletileg nem kizárt, hogy élőlények a világűrbe is kijussanak, tetszhalott állapotban túléljék az ott uralkodó körülményeket, majd megfelelő viszonyok közé kerülve ismét életre keljenek. Ezeket a teóriákat pánspóra vagy pánspermia elméleteknek nevezik. Az elgondolás *Anaxagoraszt* követően, modern megközelítéssel elsőként *Berzelius* (1834), majd *Kelvin* (1871) és *Helmholtz* (1879) munkáiban olvasható. *Svante Arrhenius* 1903-ban közölt hasonló teóriát, ő meteoritok nélkül számolt azzal, hogy a baktériumok utazhatnak a világűrben.

Amikor egy élőlény egy kőzetdarabban utazik, a lehetőséget litopánspermiának nevezik. A fenti elméletek nem adnak magyarázatot az élet keletkezésére, eszerint az egyes égitestek egymást „fertőzik” meg az étellel. Mindehhez első lépésként egy élethordozó égitestet (például Föld) élőlények hagyják el, amelyek tetszhalott állapotba kerülnek. Ezt követően bizonyos ideig utaznak a világűrben, mozgásukat gravitációs és kis tömeg esetén sugárzási folyamatok erősen befolyásolják, majd véletlen folyamatok révén landolnak egy másik égitesten. Ha ott megfelelő körülmények közé kerülhetnek, ismét életképesekké válhatnak. Elkülöníthető Naprendszeren belüli és azon kívüli utazás.

Start egy bolygóról

Egy nagy becsapódás (1. táblázat) a felszínközeli kőzeteket úgy lövi ki, hogy bennük az ellenálló mikroorganizmusok kevéssé roncsolódnak, ha a start során fellépő nyomást és hőmérsékletet túléljük. Utóbbira egyrészt a jelenség gyors lezajlása miatt van lehetőség, de

Az alábbi írás az idén tavasszal megjelent *Asztrobiológia* című könyvből származó rövid fejezet. Célja, hogy példát mutasson a könyv témaköreiből és a tárgyalás szakmai mélységéről.

csak annál a testnél, amely a felszínhez közeli rétegben található, illetve nem a robbanás forró centrumában helyezkedik el.

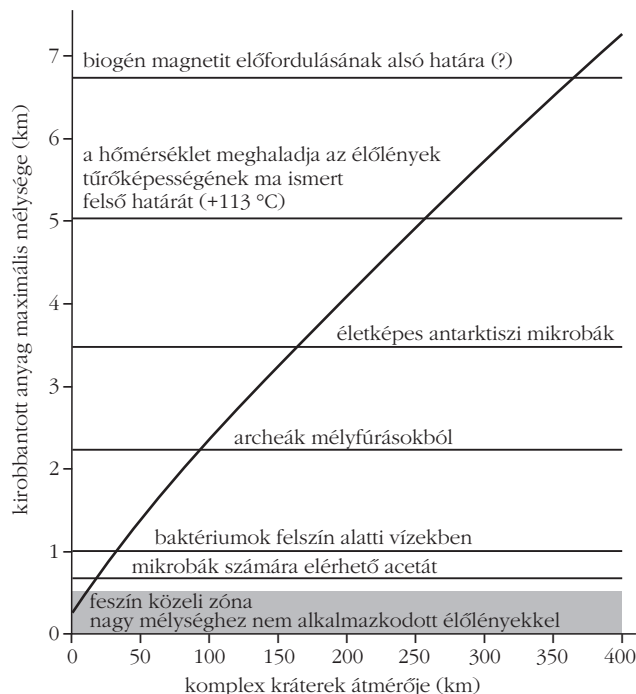
A mélyebb rétegekben a kilökődés pillanatában nagy nyomás lép fel, amíg az anyag felgyorsul. Ellenben a felszínközeli réteg a kifelé haladó lökeshullámtól nem nyomódik össze ennyire, mivel felette nincs szilárd anyag, hanem kis nyomást átélve gyorsul a kritikus érték fölé (1. ábra).

A fenténél talán lassabb folyamat is juttathat apró élőlényeket a világűrbe. Ennek keretében a szelek 10–50 kilométeres magasságba szállítják az apró sejteket. A viharfelhők szintje felett sok időt tölthetnek, miközben szaporodnak, illetve bizonyos mértékig alkalmazkodnak az ott uralkodó erősebb sugárzás-hoz, kisebb légnyomáshoz és alacsonyabb hőmérséklethez. Az apró testek a felületükön megtapadó töltések miatt a globális mágneses térrel kölcsönhatásba lépnek, ha pedig az ekkor ébredő erő meghaladhatja a gravitációs erőt, tovább emelkedhetnek. A magnetoszférában az ideális esetben töltéssel még mindig bíró testeket elsősorban az úgynevezett magnetoszférikus buborékok szállítják tovább. Utóbbiakban a mágneses tér olyan szerkezetet vesz fel, amelynek hatására a környező erővonalakkal kölcsönhatva

1. táblázat

Becsapódáskor kirepülő anyag jellemzői a Marsnál

becsapódó test átmérője (km)	keletkező kráter átmérője (km)	100 °C alatti hőmérsékleten kidobott anyag mennyisége (g)
100	800	$8,3 \times 10^{17}$
30	250	$2,2 \times 10^{16}$
20	175	$5,5 \times 10^{15}$



1. ábra. Egy becsapódással keletkezett kráter közelítő mélysége (vízszintesen) és a kidobott anyag maximális származási mélysége (függőlegesen), valamint néhány földi élőlény jellegzetes maximális előfordulási mélysége.

nagy sebességgel eltávolodnak bolygónktól – elvileg ekkor „csupasz” élőlények juthatnak a világűrbe.

Utazás a bolygóközi térben

A világűrben uralkodó körülményeket csak tetszhalott állapotban lehet túlélni. Erre egyes baktériumoknál ideális a spóraállapot, amikor inaktív fázisba kerülve szélsőséges környezeti viszonyokat (alacsony hőmérséklet, szárazság, erős sugárzások) képes túlélni a baktérium.

Az alacsony hőmérséklet és a teljes szárazság mellett súlyos problémát jelentenek az intenzív sugárzások. Ezek roncsoló hatása miatt tetszhalott állapotban is csak bizonyos nagyságú dózis (teljes sugárzásmennyiség) tolerálható – ha túl nagy a roncsolás, utána már kedvező körülmények esetén sem lesz életképes az élőlény. A sugárdózist a világűrben töltött idő, valamint az élőlényt övező sugárvédő borítás és annak esetleges saját sugárzása együtt határozza meg. Az egyszerű élőlények tetszhalott állapotban, rövid idő alatt védelem nélkül sem feltétlenül szenvednek el akkora sugárterhelést, hogy többé már ne legyenek életképesek.

Hosszabb időt pedig megfelelő sugárvédő réteg segítségével, például egy kőzet belsejében vészelhetnek át. Durva közelítéssel egymillió éves űrbeli tartózkodáshoz egy méter vastag kőzetréteg nyújthat megfelelő sugárvédelmet. Hosszú időskálán azonban már a kőzet saját radioaktivitása lehet veszélyforrás, amely az összetételtől függ.

2. táblázat

A Naprendszerben becsült bolygóközi anyagcsere mértéke

forrás égitest ¹	szökési sebesség (km/s)	cél égitest ²	égitestre érkező anyag ³ (%)	átlagos utazási idő (10 ⁶ év)
Merkúr	4,4	Merkúr	80	0,1–10
		Vénusz	7	5–30
		Föld és Hold	0,5	10–30
		Mars	–	–
Vénusz	10,4	Merkúr	0,5	1–10
		Vénusz	50	0,1–10
		Föld és Hold	9	0,1–10
		Mars	<1	1–50
Föld és Hold	11,2 és 2,4	Merkúr	–	–
		Vénusz	15	0,1–10
		Föld és Hold	50	0,01–10
		Mars	0,1	1–50
Mars	5,0	Merkúr	–	–
		Vénusz	4	1–20
		Föld és Hold	5	1–20
		Mars	3	0,1–20

¹ ahonnan az anyag kirepül

² ahol a kidobott anyag véletlenszerűen landol

³ a teljes kidobott anyagmennyiséghez viszonyítva

Landolás egy „lakható” égitesten

A légköri belépéskor lezajló események a test tömegétől, sebességétől, érkezési szögétől, a légköri sűrűség függőleges eloszlásától és a test belső szerkezetétől is függenek. A legkisebb szemcsék erős felhevülés nélkül magasan lelassulnak, majd lassan ülepednek a felszín felé. A nagyobb testek a légkörben felizzanak, közben lassulnak. Gyakran teljesen megsemmisülnek, esetleg a magasban felrobbannak, de lelassulhatnak, majd szabadesséssel lehullanak. A legkisebb testeknél tehát nincs felhevülés, viszont csak rövid űrbeli tartózkodás lehetséges veszélyes sugárterhelés nélkül. A nagyobbaknál jobb a sugárvédelem, de csak a kőzetek belsejében lehet túlélni a külső felület felhevülését a légköri fékeződéskor.

Egy adott bolygórendszeren belül sokkal nagyobb az esély az élet ilyen vándorlására (2. táblázat), mint hogy a kirepült test egy másik csillag körüli planétán landoljon. A Chicxulub becsapódás alkalmával például körülbelül 10⁹–10¹⁰ tonna anyag repült ki a Földről, amelyből a hozzánk száz fényévnél közelebbi egy-egy csillag környezetébe már csupán gramm nagyságrendű anyagmennyiség juthatott el. Jelenleg évente tonnányi anyag hagyhatja el a Naprendszert.



2. ábra. A Foton-M3 visszatérő egysége, amelynek külső felületén a STONE-6 kísérlet kőzetmintái kaptak helyet (ESA).

Kísérletek

A pánspóra elméleteknél kísérletesen vizsgálható az élőlényeknek a nagy nyomással és sokkhatással szemben mutatott túlélőképessége, amely a „kilövés” és a „landolás” pillanatában léphet fel. Az űrbeli túlélőképesség Föld körüli pályán és szimulációs kamrákban tanulmányozható, a mesterséges meteoritokkal pedig a „leszállás” előtti légköri fékeződés vizsgálható. Az alábbi példák ezek közül mutatnak be néhányat.

Az LDEF (Long Duration Exposure Facility) műholdon, amely 1984 és 1990 között keringett a Föld körül, spórákat helyeztek el. Az űreszköz hazaszállítása után a baktériumspórák közel kétharmada ismét életképes volt. Célirányosabb összeállítás az orosz FOTON műholdak fedélzetén elhelyezett BIOPAN kísérlet volt, amelyben két hétig vákuumnak, a világűr sugárzásainak és extrém hőmérsékleteknek tettek ki élőlényeket (főleg mikrobákat, növénymagvakat), valamint szerves anyagokat. A tetszhalott állapot után a Földön legjobban vizsgázott a *Bacterium subtilis*. Ezeket agyagban, vörös homokkőben, a Millbillie meteorit és a Zagami marsi meteorit anyagában, valamint szimulált marstalajmintákban helyezték el. A világűr körülményeinek közvetlenül kitett példányoknak körülbelül egymilliomod része maradt csak életképes, ellenben amelyeket kőzetszemcsékkel keverték össze, 50–90% között volt az arány. Kiderült továbbá, hogy nem csak a sporulációra képes élőlények élhetnek túl egy űrbeli utazást. Ezek között említhető a *Synechococcus* cianobaktérium, amely populációjának közel negyede életképes maradt.

A STONE-1 kísérlet során 1999-ben egy-egy kapszula tért vissza a Föld körüli pályáról bolygónkra, és 7–8 km/s sebességgel lépett be a légkörbe. A visszatérő egység külső felületére különböző kőzetmintákat rögzítettek, és a landolás után a légköri sűrűlódás, valamint a magas hőmérséklet hatását vizsgálták rajtuk. Egyes minták hátoldala (amely a szonda testével és nem a légkörrel érintkezett) *Chroococcidiopsis* cianobaktériumokat is tartalmazott.

A STONE-6 kísérletben a visszatérő kapszula külső felületén helyezték el a mintákat, köztük üledékes kőzeteket és bazaltokat. Az egység 12 napos Föld kö-

rüli keringés után landolt. A külső felületen lévő 3,5 milliárd éves vulkáni homokból álló, összecementált üledék az ausztráliai Pilbaból származott. Ennek közel fele elizzott a visszatérés során, de a mélyebben lévő fossziliák egy része felismerhető maradt benne. Egy 350 millió éves agyagkőnek közel 30%-a maradt meg épségben. Miközben körülbelül 1700 °C lépett fel a minták felületén, az élőlényeket a körülbelül 2 cm vastag kőzetréteg nem tudta megvédeni a forróságtól. A cianobaktériumok nem éltek túl a visszatérést a 2 cm vékony minta belső oldalán, azonban fossziliák (akár csak a kőzetmintákban lévő idős fossziliák) a lehullás után is felismerhetőek maradtak, ugyanakkor jelentős ásványtani átalakulások is történtek.

A MarsTox kísérletben szimulált marsi regolit mintába helyeztek baktériumokat. Ezeket szerény sugárzásvédelemmel is ellátták a Föld körüli pályán, ami a Mars felszínére jellemzőhöz közeli sugárdózist eredményez. Itt a marstalaj mérgező hatását és az erős ultraibolya sugárzás együttes következményét vizsgálták. A MarsTox I a FOTON M-2 kísérlet keretében 2005-ben, a MarsTox II a FOTON M-3 fedélzetén 2007. szeptember 14–26. között volt Föld körüli pályán, utóbbinál már a Mars légköri portartalmának következményét is megpróbálták figyelembe venni (2. ábra). A marsihoz hasonló körülmények között jobban éltek túl a baktériumok az űrutazást, mint a vákuumnak közvetlen kitéve, a minta mérgező kémiai hatása pedig nem volt kimutatható.

Inaktív formában néhány millió éves tetszhalott állapot utáni „feléledést” már több alkalommal kísérletesen bizonyítottak. 30–40 millió éves baktériumokról készült megfigyeléseken egyelőre vitatkoznak a szakemberek, mivel nehéz a méréseket nagy pontossággal kivitelezni. Egy, az új-mexikói sókristályban talált 250 millió éves baktérium életképessé válásáról pedig még bizonytalanabbak az ismeretek.

Vastagabb, vagy rosszabb hővezető anyagnál kedvezőbb lehet a helyzet. A korábbi feltételezésekkel ellentétben, a földihez hasonló üledékes kőzetek is egyben maradhatnak a légköri belépés során (ilyen marsmeteoritokat eddig nem találtak, és feltételezték, hogy azok teljesen elizzanak, illetve szétdarabolódnak a légkörben).

A pánspóra alapú utazás az élőlényeknél elsősorban a Föld és a Mars viszonylatában érdekes. Mivel bolygónk gravitációs tere erősebb a Marsénál, kevesebb földi meteorit landolt a vörös bolygón, mint fordítva. A „bolygóközi anyagcserére” főleg a Naprendszer korai időszakában kerülhetett sor, amikor gyakoribbak voltak a becsapódások. Nem kizárt, hogy a gyorsabban hűlő Marson korábban lett annyira hűvös a felszín, hogy ott a folyékony víz megjelenjen, és ott akár korábban is kialakulhatott az élet, mint a Földön. Ha ez megtörtént, meteoritokban a Földre is juthattak az első „marslakók”. Fontos megemlíteni továbbá, hogy ha a földi életet a világűrből érkezett élőlényekkel magyarázzuk, azzal még nem adunk választ az élet kialakulására. Utóbbira mai ismereteink alapján az ősi Földön jó esélyek voltak.