

Űrkutatás és asztrobiológia

RONTÓ GYÖRGYI, BÉRCES ATTILA

MTA-SE Biofizikai Kutatólaboratórium
berces@puskin.sote.hu

Lektorált

Kulcsszavak: szimulációs kamrák, UV-sugárzás, napspektrum, nukleinsav UV sérülése, ISS

A szerzők az asztrobiológia tudományát az űrkutatás egyik újonnan kifejlődött ágaként mutatják be, amely a földi élet keletkezésének feltételeit, lehetőségét és a biológiai rendszereknek az Univerzum más részében való fellelhetőségét igyekszik felderíteni. A kísérletes vizsgálatok többféle megközelítést alkalmaznak: földi modelleket, illetve szimulációs kamrákat, valamint a világűr bizonyos részein *in situ* vizsgálatokat végeznek. A közleményben a szerzők bemutatják a T7 bakteriofágot és az uracil molekulát, mint egyszerű biológiai rendszereket, amik vizsgálataik objektumai. Az objektumokon egy földi szimulációs kísérletsorozat eredményeiről számolnak be a marsi UV sugárzásnak az uracil molekulára kifejtett hatásáról, továbbá azoknak a kísérleteknek az előkészületeiről, amiket a közeljövőben a Nemzetközi Űrállomáson (ISS) kívánnak elvégezni.

1. Bevezetés

Az 1946. év eleje nagy fordulatot jelentett a második világháború nehézségeit alig-alig kiheverő emberiség történetében: de Witt USA-beli és Bay Zoltán, magyar kutató bejelentette, hogy radarhullámok segítségével sikerült kapcsolatot teremteniük a Holddal. De Witt január 10-én, Bay Zoltán pedig tőle függetlenül február 6-án tette meg a bejelentést. Ez az esemény az emberiség számára azt bizonyította, hogy a megismerés experimentális lehetőségei túlnyúlnak a Föld határain [1].

És a kutatás itt nem állt meg, a 20. század technikai fejlődése ugyanis lehetővé tette, hogy az ember elhagyhassa a földgolyót és részben Föld körüli pályán tegyen utazást, részben pedig – ha csak rövid időre is – másik égitestre tegye a lábát, miközben közelebbi és távolabbi környezetünket űrteleszkóp, műholdak, telespektroszkópia, vagy a Naprendszer kiválasztott bolygóra küldött robotok segítségével vizsgálja. A 21. század kezdetére az ismert világ egyre tágult és egyre növekvő tudásunk birtokában egyre sürgetőbbé válik több, válaszra váró kérdés: egyedül vagyunk-e az Univerzumban? A Naprendszerben, vagy azon kívül is találhatóunk-e életet? Hogyan keletkezett az élet a Földön és áttelepülhet-e az élővilág egyik bolygóról a másikra?

Az űrkutatással kapcsolatos ismereteink alapján ma még nem tudunk pontos választ adni arra a kérdésre [2], hogy vajon az élet egy kitüntetett helyen, közvetlenül (és kizárólagosan) a Földön jött-e létre, vagy pedig az univerzumban egy (vagy esetleg több) másik égitesten is keletkezett, esetleg éppen most van kialakulóban? Elképzelhető az is, hogy a Földön most található élő rendszerek elődei a világűrön keresztül, hosszú utazás után érkeztek a Földre. Az „élet” ebben az esetben általában igen egyszerű biológiai rendszereket, többnyire mikroorganizmusokat (például baktériumokat, spórákat, algákat) jelent, és csak kevésbé kell bonyolultabb élőlényekre gondolnunk.

A legegyszerűbb biológiai rendszerek kialakulásához, létezéséhez is több feltételnek kell teljesülnie: elengedhetetlennek látszik a víz (elsősorban folyékony halmazállapotban), valamint bizonyos, a biológiai rendszert felépítő anyagok (szén, nitrogén, oxigén, hidrogén, kén stb.) jelenléte a környezetben, ezen felül szükséges még az élethez megfelelő hőmérséklet és elegendő energia is, amely különböző forrásokból származhat. Ugyancsak fontos az élő rendszert körülvevő stabil külső környezet, ami védelmet biztosít a kozmikus eredetű részecske-, valamint elektromágneses sugárzások ellen. Az űrkutatás által életre hívott asztrobiológia tudománya tűzi ki azt a célt maga elé, hogy feltárja a különféle bolygókon uralkodó viszonyokat, vizsgálja az élet feltételeit és igyekszik a bolygókon felderíteni az élet esetleg rejtett jeleit.

Az élet kialakulását, illetve létezését, az életfeltételek határait kétféle rendszerben, nevezetesen *földi modelleken*, és *in situ* körülmények között tanulmányozzák. A földi modellek rendszerint extrém környezeti adottságokkal rendelkező természetes földrajzi helyek, mint például az Északi-, vagy a Déli-sark jéghegyei, szikláik, sóbányák mélye, vagy pedig mesterséges, úgynevezett *szimulációs kamrák*. Az előbbi kutatások a zord éghajlati, illetve környezeti viszonyok helyszínén élő mikroorganizmusokat célozzák meg, míg a szimulációs kamrákban alkalmasan kiválasztott kísérleti mintákon (ismét többnyire mikroorganizmusokon) egy vagy több (kombinált) környezeti paraméternek az élőrendszerekre gyakorolt tartós, jól definiált hatását vizsgálják. A vizsgálódás arra irányul, hogy a külső (esetleg zord) feltételek milyen mértékben befolyásolhatják az élet lehetőségeit.

Az *in situ* kutatások a naprendszeren belüli és azon kívüli kiválasztott égitesteken, illetve a világűr bizonyos részein zajlanak. A kiválasztást a bolygók tulajdonságaira vonatkozó elméleti megfontolások, valamint korábbi megfigyelések eredményeire alapozzák. A kísérleti kutatások az élet környezeti feltételeinek feltárását,

valamint az élet jelenlegi, vagy múltbeli jelenlétére utaló jeleinek kimutatását célozzák. Egy-egy ilyen expedíció (in situ kísérlet) megszervezése, eszköztárának optimális kialakítása komoly stratégiai feladat, nem is szólva az óriási költségekről, valamint arról, hogy váratlan nehézségek miatt a kísérlet meghiúsulhat.

Az asztrobiológia iránti kiemelt érdeklődést mutatja, hogy a legutóbbi időkben számos kutatás indult el, illetve indul el a Mars (pl. Mars Rover, Mars Express), a Venus (Venus Express), a Titan (Huygens), mint az élet lehetséges színhelyeinek tanulmányozására, és már elkészült az ESA következő 10 éves, a 2015-2025 évekre szóló kutatási koncepciója (Cosmic Vision). E hosszú távú kutatási program keretében a Naprendszeren kívüli bolygókra is figyelmet kívánnak fordítani, és pedig azoknak a bolygóknak a feltárását tekintik az egyik kulcskérdésnek, amiken az elvi számítások alapján az életfeltételek adottak lehetnek [3].

A következő szakaszokban áttekintést nyújtunk saját kutatásainkról, nevezetesen egy szimulációs és egy jelenleg előkészítés alatt álló in situ kutatásról.

2. Földi szimuláció

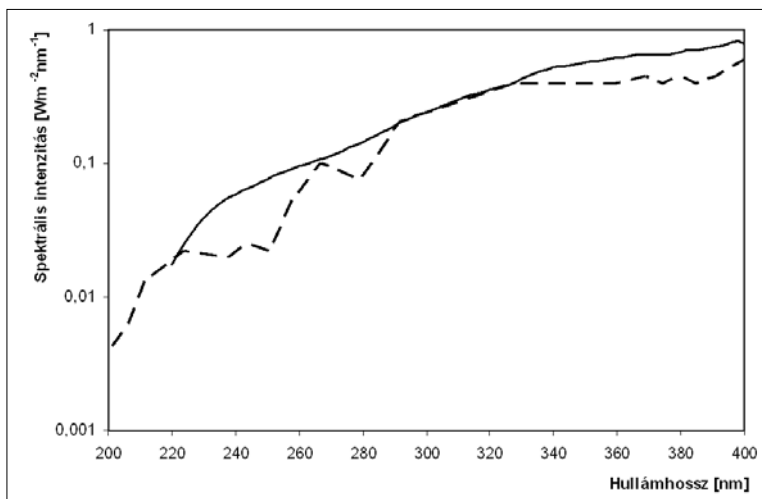
Először a szimulációs kutatássorozatot mutatjuk be. Általánosan ismert, hogy az ultraibolya (UV) sugárzás a kémiai, biokémiai folyamatok stimulálásában, valamint az élővilág evolúciójában is döntő szerepet játszott, illetve játszik. Az ultraibolya sugárzás a 400 nm-nél rövidebb hullámhosszúságú elektromágneses sugárakat jelenti, amely naprendszerünkben a Nap sugárzásából származik. Az UV sugárzást a hullámhosszak szerint több tartományra osztjuk, ezt mutatjuk be az 1. ábrán.

Az UV sugárzás különböző tartományairól közismert, hogy az élet szempontjából fontos biológiai makromolekulákra (nukleinsavak, fe-

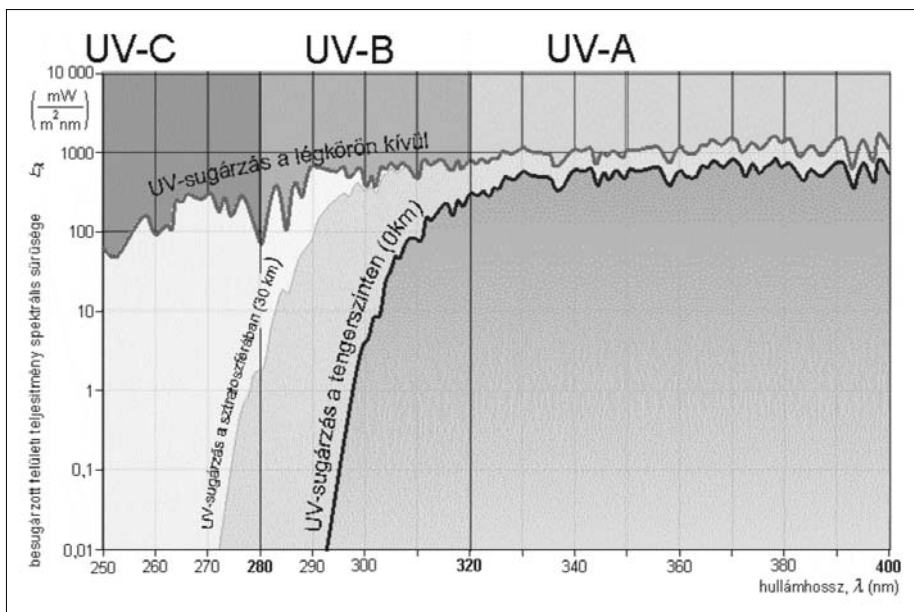
hérjék, membránok) nézve elsősorban nem csak stimuláló, hanem károsító hatást is kifejthetnek [4].

Földi körülmények között a légkör oxigén-, valamint ózontartalma, sőt további légköri komponensek, mint a kéndioxid, aeroszok jelentős mértékben védik az élő világot a káros sugaraktól. Az UV tartománynak a 280-290 nm-nél rövidebb hullámhosszúságú sugarairól van szó. Tehát a földi légkörön kívül található élő rendszerek esetében ezeknek az UV komponenseknek a biológiai hatásával is számolni kell. Ez a helyzet a világűrön keresztül, egyik bolygóról a másikra megvalósuló élőanyag-transzport, valamint például a Marson esetleg előforduló, jelenlegi élő, vagy valamikori élő rendszerek esetében. A kérdés tehát úgy merül fel, hogy egy adott élő rendszer milyen esélyekkel éli túl a sugárzás hatását egy olyan UV sugárforrás mellett, amely 280 nm-nél rövidebb hullámhosszúságú sugárzást is kisugároz. A kérdés megközelítésére a Mars felszínén uralkodó sugárzási viszonyoknak megfelelő, speciális fényforrást konstruáltunk, és azt használtuk fel kísérleteinkhez [5].

A lámpa emissziós spektrumát a 2. ábra mutatja, amiből kitűnik, hogy a sugárzási térben a legrövidebb hullámhosszúságú sugárzás 200 nm. Ez a spektrum meg-



2. ábra
A marsi UV spektrum szimulációja
szaggatott vonal =
elméleti számítások,
folytonos vonal =
lámpa mérése szerinti spektruma



1. ábra
A napsugárzás UV spektruma:
UV-A: 320-400 nm,
UV-B: 280-320 nm,
UV-C: 280 nm alatt
(a három görbe az UV sugárzást
a tengerszinten, a sztratoszférában
és a légkörön kívül ábrázolja)

felel a Marson uralkodó sugárzási viszonyoknak, ahol az egyedüli fényforrás a napból származik. A napsugárzás a világűrön keresztül a Mars légkörén át (amelynek döntő fontosságú alkotórésze a 7 mbar nyomású széndioxid) lép a bolygó felszínére, de az igen vékony gázrétegen keresztül a sugárzás összetétele kevésbé változik.

A szimulációs kísérlet azt jelenti, hogy az adott összetételű UV sugárzás, mint egy kiválasztott környezeti paraméter (adott esetben az UV fény) hatásának biológiai következményeit tanulmányozzuk.

3. Kísérleti minták

Kísérleti biológiai rendszerként – ahogyan azt említettük, – asztrobiológiai célokra gyakran használunk egyszerű biológiai objektumokat. Kutatásainkban két igen egyszerű mintát használtunk: T7 bakteriofágot és egy speciális nukleinsav-bázist, uracilt. A T7 fág egy igen jól ismert baktérium-vírus, amely egyetlen nukleinsav- és néhány fehérjemolekulából áll, az uracil molekula a nukleinsav egyik jellemző alkotórésze, a genetikai kód egy eleme. Ugyanezek az alkotóelemek fordulnak elő az élő sejtekben is, tehát a kísérleti minták relevanciája egyértelmű.

A 3. ábrán az említett két minta sematikus képét mutatjuk be. Kiemeljük a bemutatott objektumok mérete közti különbséget: egy T7 fág részecske – amely tulajdonképpen egy nukleoproteid óriásmolekula – átmérője a milliméter 6 milliomod része (60 nm), míg egy uracil molekula ennél jóval kisebb, a milliméternek körülbelül százmilliomod része.

A mintákat a kísérletekhez részben oldatok (kvarc küvettában), részben 16 mm átmérőjű kerek kvarclemézre rávitt vékonyrétegek formájában alkalmaztuk. A T7 fág rétegeket oldatukból centrifugálással ülepítettük a lemezre, az uracil rétegeket pedig vákuum-párolgatásos módszerrel állítottuk elő. A besugárzáshoz hasz-

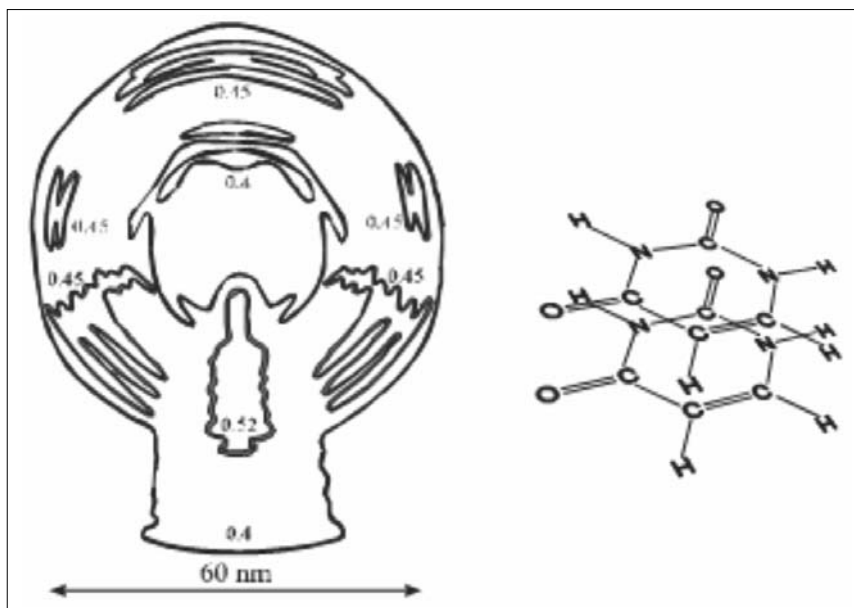
nált UV fényt (marsai UV szimulációs lámpa) – a szivárványhoz hasonlóan – felbontottuk 10 nm szélességű sávokra. A Marson uralkodó UV sugártérben a biológiai rendszerekre nézve különösen érdekes a 210 nm és a 340 nm közötti tartomány, mivel ezek a hullámhosszak földi körülmények között nincsenek jelen. A tartományt kilenc részre, sávokra osztottuk fel és minden egyes sávval a mintákat egyre növekvő mértékben sugároztuk be.

A besugárzás által okozott károsodást spektrofotométerrel, az uracil réteg jellemző elnyelésének változásával (csökkenésével) mutattuk ki (mértük). A tapasztalat szerint a változás mértéke az alkalmazott besugárzás nagyságával növekszik, azaz a jellegzetes elnyelés mértéke függ a rétegre beeső fény dóziséjától (energiatartalmától): a mért változás a beeső fény dóziséjának függvénye, ez az úgynevezett dózis-hatás függvény.

A nyert függvények (tehát összesen kilenc különböző függvény) analíziséből hullámhossz-tartományonként meghatároztuk az uracil molekula sérülési sebességét. A függvények analízise alapján kimutattuk, hogy a sérült uracil molekula a 210-260 nm-es hullámhossz-tartomány hatására vissza is alakul ép uracillá, tehát ha 210-260 nm közötti hullámhosszúságú UV sugarak is részt vesznek az uracilt tartalmazó rendszerek besugárzásában, akkor mind a sérülés létrejötte, mind pedig a visszaalakulása egyaránt bekövetkezhet és végülis az ép és sérült molekulák keletkezése és visszaalakulása között egyensúlyi állapot alakul ki.

4. Az EXPOSE/ROSE kísérlet

Előkészítés alatt álló in situ kutatásunk a nemzetközi összefogással működő EXPOSE-R berendezésben, a Nemzetközi Űrállomás (International Space Station; ISS) külső részén, a napokban telepített Columbus modulon kap majd helyet. A kiválasztott biológiai rendszerek elektromágneses (ultraibolya; UV) és kozmikus/ré-



3. ábra
Kísérleti objektumaink:
a T7 bakteriofág
és a nukleinsav alkotórész uracil
szerkezete sémásan

szecske sugárzásra adott válaszát, illetve a sugárzásokból elszenvedett dózist kívánjuk tanulmányozni. A Biofizikai Kutatólaboratórium a ROSE (Response of Organisms to the Space Environment) kutatási konzorcium tagjaként vesz részt a kísérletekben.

A kísérlet jelenleg abban a fázisban van, amikor az összes szükséges előzetes vizsgálat (Experiment Verification Test; EVT 1-4, valamint az Experiment Sequence Test; EST) már sikerrel megtörtént és megvan a minták elrendezésének, a besugárzó berendezésen való akkomodációjának a terve is. A következő lépés a minták előkészítése lesz a Nemzetközi Űrállomásra történő szállításra. A minták expozíciója a Nemzetközi Űrállomáson már in situ kísérlet lesz, azonban az előkészületekben a DLR (Köln) földi szimulációs kamrájában vizsgáltuk meg azt, hogy a mintáink (T7 fág és uracil) milyen körülmények között használhatók fel a Föld körüli pályán, amihez a szimulációs kamrában a lehetséges kedvező környezeti feltételeket teremtettük meg.

Az 1. táblázat foglalja össze azokat a paramétereket, amik a Föld „közelében”, a világűrben uralkodó körülményeket jellemzik.

A Nemzetközi Űrállomás közel 300 km távolságban kering a Föld körül, azaz az űrállomás külső felületén elhelyezendő EXPOSE besugárzó berendezésre nézve a „Föld körüli pálya” adatai közelítőleg érvényesek. A táblázat adataiból kitűnik, hogy a környezeti feltételek bizony zordak, például a vákuum már itt is jelentős, különösen akkor, ha tekintetbe vesszük, hogy a légkört már csupán néhány száz tízmillió oxigén és néhány millió hélium atom képezi; összehasonlításképpen: a földi légkörben egyetlen köbcéntiméter levegőben néhány száz 10¹⁹ molekula található. A külső sugárzásnak kiteendő mintákat tehát meg kell óvni a vákuum szívó hatásától. A probléma megoldására úgynevezett szendvicsmintát konstruáltunk, és laboratóriumunkban el is készítettük.

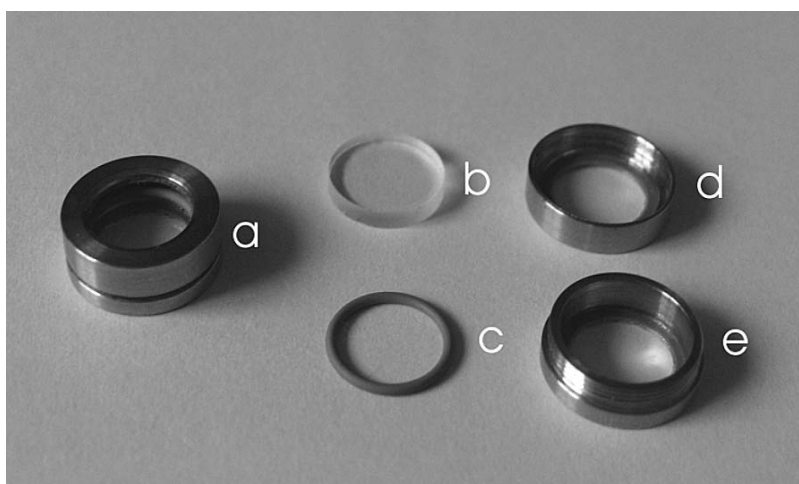
A mintatartó vázlatát a 4. ábra mutatja. A mintatartó lapos, korong alakú, 16 mm átmérőjű szelence, az alján

Paraméter	Föld körüli pálya, < 500 km
Vákuum	
Nyomás (Pa)	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁴
Gázcsepp/cm ³	10 ⁵ H, 2x10 ⁶ He, 10 ⁵ N, 3x10 ⁷ O
Nap elektromágneses sugárzása	
Teljesítménysűrűség (W/m ²)	1360
Spektrumtartomány (m)	kontinuus, 2x10 ⁻¹² – 10 ²
Kozmikus sugárzás	
Dózis (Gy/év)	0,1 – 3000
Hőmérséklet (K)	100 – 400

1. táblázat

kvarc, a tetején pedig kalciumfluorid lemezzel záródik. A kvarclemezen van a fág-, vagy uracil vékonyréteg, a kalciumfluorid fedőlemez pedig alkalmas arra, hogy az extraterresztriális napsugarak számára átjárható legyen. A zárás vákuumbiztos, és így lehetőség van arra, hogy a szelence belsejét bármilyen, például semleges (nem oxidáló) gázzal töltsük meg.

A DLR űrszimulációs kamrájában a ROSE konzorcium kísérletei részben azt vizsgálják, hogy a biológiai rendszerek milyen feltételek mellett maradnak életképesek, részben pedig a sugárzás és egyéb tényezők által létrehozott genetikai, biokémiai, fotokémiai változásokat tanulmányozzák. A konzorciumban a magyar rész a PUR (Phage and Uracil Response). Ennek keretében vizsgáljuk a különböző mértékben (százszorosán, tízezerszeresen, milliószorosán) gyengített extraterresztriális UV sugárzás hatására a T7 bakteriofágok életképességének a csökkenését, a T7 fág DNS-ében keletkező fotosérülések mennyiségét és minőségét, mind pedig kitüntetetten az uracil molekula fotosérülését. Az eddig nyert dózis-hatás függvények analízise alapján azt reméljük, hogy az extraterresztriális térben, a föld körüli pályán is kimutatható lesz a rövid hullámhosszúságú UV sugarak károsodást visszafordító hatása.



4. ábra
A mintatartó és alkatrészeinek fotója

- a: Alkalmazásra kész mintatartó,
b: kvarc, vagy fluorid ablak
(kísérlettől függően),
c: viton gyűrű,
d, e: a mintatartó felső és alsó része,
mindkettő rozsdamentes acélból

5. Összefoglalás

A bevezetőben felvetett kérdésekre ugyan nem várható az asztrobiológiától azonnali és teljes válasz, de az eddigi szimulációs eredmények alapján sem lehet kizárni az élő rendszerek átjutását a világűrön keresztül egyik bolygóról (egyik űreszközzel) a másikra. Valamely bolygó felszínéről elindult, és egy másik bolygó felé (esetleg meteoritban) tartó élő rendszert azonban számos környezeti tényező károsító hatása fenyegethet. E hatásokat Nicholson, Horneck és munkatársai [6] részletesen elemezték.

A szerzők elvi megfontolásai, valamint modelljeik alapján fennáll bizonyos valószínűsége annak, hogy – megfelelő körülmények között – a zord űrbeli feltételek ellenére is életképes biológiai rendszerek kerüljenek egyik bolygóról a másikra. Földi eredetű mikroorganizmusok egy része túlélheti az űrbeli tartózkodást, amihez az extraterresztriális napsugárzás rövid hullámhosszúságú komponenseinek károsítást visszafordító hatása is hozzájárulhat. Fennáll tehát annak a veszélye, hogy a Földről elindított űreszközök átvihetik a mikroorganizmusokat egy másik bolygóra, azaz fennáll annak a veszélye, hogy naprendszerünk, illetve az univerzum bármelyik étellel betelepíthető bolygóján idegen élővilág telepszik meg: a bolygó „fertőződik”. Ez a felismerés felhívja a figyelmet a bolygók védelme érdekében az űreszközök indítás előtti gondos sterilizálására.

Az előzőkből következik, hogy a világűrből esetlegesen bejutó idegen élő rendszerekkel szemben Földünk bioszférája is védelemre szorul, azaz a világűrből visszatérő eszközök, minták gondos kezelése legalább olyan fontos, mint a Földről indított eszközöké.



A szerzőkről

Rontó Györgyi a Budapesti Orvostudományi Egyetemen szerzett általános orvosdoktori oklevelet. A biológiai tudomány doktora, Professor Emeritus. Korábbi munkahelyei a Semmelweis Orvostudományi Egyetem Biofizikai és Sugárbiológiai Intézete, az MTA TTKL Biofizikai Kutatólaboratóriuma és az MTA Biofizikai Kutatócsoportja voltak. Jelenleg a Semmelweis Egyetem Biofizikai és Sugárbiológiai Intézetében dolgozik. Kutatási témája a molekuláris és globális UV dozimetria kiterjesztése. Számos tudományos pályadíjat, kitüntetést nyert el, többek között a „SOTE Kiváló Kutató” címet, a Magyar Biofizikai Társaság díját, Apáczai Csere János Díjat.

Bérces Attila tanulmányait a Babes-Bolyai Tudományegyetem Fizika karán és az Eötvös Lőránd Tudományegyetem Fizika karán végezte. A Semmelweis Egyetemen szerzett Ph. D. fokozatot. Munkahelyei az MTA TTKL Biofizikai Kutató Laboratórium, az MTA-SE Biofizikai Kutatócsoportja. Jelenleg egyetemi adjunktus a Semmelweis Egyetem, Biofizikai és Sugárbiológiai Intézetében. Részt vesz az MTA Társult Biofizikai Kutatócsoport munkájában. Kutatási témája: a molekuláris és globális UV dozimetria kiterjesztése.

Irodalom

- [1] Bay Z.,
A világűr kísérletek jövője,
Fizikai Szemle, (57) 1990, pp.361–365.
- [2] Ehrenfreund P., Menten K.M.,
From Molecular Clouds to the Origin of Life,
in: Astrobiology (ed. G. Horneck, Ch. Baumstark-Kahn),
Springer Verlag Berlin, 2002.
- [3] Bignami G.F.,
Cosmic Vision: Space Science for Europe 2015-2025,
Nature, (435) 2005, pp.563–565.
- [4] Rontó Gy., Tarján I.:
A biofizika alapjai.
Semmelweis Kiadó, Budapest, 1999.
- [5] Kolb C., Abart R., Bérces, A., Garry J.R.C.,
Hansen A.A., Hohenau W., Kargl G., Lammer H.,
Patel M.R., Rettberg P., Stan-Lotter H.,
A UV simulator for the incident Martian surface
irradiation and its applications,
Int. Journal Astrobiology (4) 2005, pp.241–249.
- [6] Nicholson W.L., Munakata N., Horneck G.,
Melosh H.J., Setlow P.,
Resistance of Bacillus endospores to extreme
terrestrial and extraterrestrial environments,
Microbiol. Mol. Biol. (64) 2000, pp.548–572.