

# AZ ÉREM MÁSIK OLDALA

## THE OTHER SIDE OF THE COIN

Embey-Isztin Antal

DSc, társult kutató, Magyar Természettudományi Múzeum Ásvány- és Kőzettár, Budapest  
embey@nhmus.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban az asztronómusok űrteleszkópok segítségével folyamatosan fedeznek fel újabb és újabb, Naprendszeren kívüli bolygókat. Ennek hatására megerősödött az a hiedelem, hogy az élet, sőt az intelligens élet is gyakori az Univerzumban. Az emberek egyszerűen hinni akarnak a földönkívüliekben (vagy valamilyen földön kívüli intelligenciában). Az asztrobiológusok, valamint a sajtó gyakran befolyásolják őket ebben a szenzációéhes hozzáállásban. Jelen dolgozat megpróbálja bemutatni, hogy ez a nézet túlzottan leegyszerűsített, mert úgy tűnik, az élet kifejlődése, különösképpen az intelligens élet megjelenése sokkal többet kíván, mint csupán egy életre alkalmasnak tűnő bolygót. Komplexitások és esetlegességek mindenütt jelen vannak a bolygók kialakulásától kezdve a Nap körüli por- és gázködben, Földünk geológiai fejlődésében és különösen az élet keletkezésében és az evolúcióban. A Naprendszeren kívüli élet (már amennyire létezik) megjelenése, evolúciója és életképessége hatalmas bizonytalanságokat foglal magában, amelyeken gyakran átsiklanak. Ha azonban mégis sikerül földön kívüli életet találni, az minden bizonnyal valamilyen primitív mikroba lesz. A komplex állati élet ritka lehet a Galaxisban, és a sok évtized óta tartó állandó észlelések ellenére intelligens lények jelzéseit sem sikerült mindmáig azonosítani. Vagy túl messze vannak tőlünk ahhoz, hogy kommunikálni tudjanak velünk, vagy pedig egyedül vagyunk a Galaxisban.

### ABSTRACT

Nowadays astronomers, using space telescopes are continually discovering new exoplanets orbiting their stars. One of the effects of this development is the increasing belief that life, even intelligent life is commonplace in the Universe. The public simply wants to believe in aliens (or some sort of extraterrestrial intelligence). Astrobiologists and the press often encourage people to adopt these sensational attitudes. This paper attempts to show that this approach is an oversimplification, the development of life, especially intelligent life appears to require more than just planetary suitability. Complexities and multiple contingencies are everywhere from the formation of planets in the circumstellar dust disk, through the planetary evolution of our Earth, and especially with the appearance and subsequent evolution of life. The emergence, evolution, and survivability of extrasolar life, if any exists, involves enormous uncertainties that are often overlooked. However, if life will yet be detected on an extrasolar planet, it will most probably be in the form of primitive microbes. Complex animal life may be rare in the Galaxy, and in spite of many decades of listening, no signals from intelligent beings have been detected so far. Either they are too far away to be able to communicate with us, or we are alone.

**Kulcsszavak:** élet, intelligens élet, asztrobiológia, Föld, Hold, bolygók, véletlenszerűség, esetlegesség

**Keywords:** life, intelligent life, astrobiology, Earth, Moon, planets, chance, contingency

Amióta a Kepler-úrtávcső sorra fedezi fel a más csillagok körül keringő ún. exobolygókat, a földön kívüli élet létezésében való hiedelem újabb lendületet kapott. Felmérések szerint az emberek igen jelentős része hiszi, hogy nemcsak hogy van élet a földön kívül, de hozzánk hasonló intelligens lények is gyakoriak az Univerzumban (e csoport fele szerint már meg is látogattak minket, lásd UFO-k). Ebben jelentős szerepe van a sajtónak, az ismeretterjesztő cikkeknek és tv-műsoroknak, de számos asztrobiológus tudósnak is, akik megerősítik őket ebben a szenzációs szellemi beállítottságban. Úgy tűnik, hogy a tudományos közösség is felszállt egyfajta optimista tudományos-fantasztikus vonatra, miközben nem eléggé őszinte és óvatos a sokféle buktató kiemelésében. Szerencsére azonban akadnak olyan tudósok is, mint például Peter Ward és Donald Brownlee (2004); Antonio Lazcano és Kevin P. Hand (2012); David S. Spiegel és Edwin L. Turner (2012); Mario Livio és Joe Silk (2017) és mások, akik a kérdést a tudományos módszerben elengedhetetlen alapossággal, a pro és kontra érvek összevetésével próbálják górcső alatt vizsgálni. Bár ezek a tanulmányok részletesen tárgyalták a problémakör hihetetlen bonyolultságát, a véletlenszerű események és a kaotikus dinamikus állapotok szerepét, valamint az egyes, az élet számára fontos feltételek valószínűségét, mindezekből alig ment át valami a köztudatba. Az alábbiakban ezek jelenőségét szeretném kiemelni, és a népszerű „optimista” nézettel szemben, az érem másik oldalának bemutatásával azt érzékeltetni, hogy földön kívüli intelligens lényekkel kevés esélyünk lesz kapcsolatba kerülni.

Az asztrobiológia mint új tudományág az 1990-es évek közepén jött létre, amikor egy, az Antarktison gyűjtött négy milliárd éves meteoritban David S. McKay és társai (1996) olyan struktúrákat és anyagokat találtak, melyeket a földön kívüli élet bizonyítékaiként értelmeztek, miközben azokat mások abiogén folyamatoknak vagy földi kontamináció eredményének tartják. A tudomány mai állása szerint az élet minden kétséget kizáróan csak egyetlen bolygón ismert, ez pedig a Föld. Ebből kifolyólag Jeffrey L. Bada (2005) szerint az asztrobiológia mint önálló diszciplína voltaképpen nem állja meg a helyét, hiszen ez lenne az egyetlen tudományág, amelynek igazából nincs is tárgya. Ez azonban korántsem jelenti azt, hogy az asztrobiológia égisze alatt ne születtek volna értékes, új tudományos eredmények, de ezek a már korábbi tudományágakba (például: asztronómia, planetológia, biológia, geológia) is simán beleillettek volna. Bizonyos körökben az asztrobiológia előnyösen hangzó jelszóként használatos a pályázati pénzek megszerzésének érdekében. Többen kritikusán nézik azt is, hogy állandóan ismételve túlzott hangsúlyt fektetnek néhány távoli analógiára az extremofil mik-

robák és a Naprendszer potenciálisan lakható világai között (Mars, Ganimédesz, Titán, Európa és Enkeládusz). Azt viszont többnyire elhallgatják, hogy a lakhatóság, azaz az életlehetőség alapkövetelményeinek (energiaforrás, komplex kémia, víz, esetleg más folyadék) megléte még nem jelenti azt, hogy ilyen helyeken az élet ténylegesen is megjelenik. Ez annál is inkább így van, mert egyelőre még azt sem tudjuk, hogy Földön hogyan jött létre.

Az elterjedt tradicionális álláspont az, hogy az élet, és nem csupán mikrobák, hanem intelligens lények is, mindenütt jelen lehetnek az Univerzumban. Az intelligens élet elkerülhetetlenül alakulhat ki a biológiai evolúció következtében. Az Univerzum tele van Földhöz hasonló életet hordozó bolygókkal. Ezt a beállítottságot jól illusztrálja a Mars csatornák propagálásáról híressé vált Percival Lowell (1908) asztronómus könyvéből vett idézet: „Mindabból, amit egyrészt összetételéből, másrészt tagoltságából megtudtunk, az élet a bolygófejlődés épp olyan elkerülhetetlen fázisa, mint a kvarc, a földpát és a nitrogénes talaj. Mindegyikük külön-külön és együttesen is, csupán a kémiai affinitás megnyilvánulásai.” Ma már egy gyerek is tudja, hogy a Marson nincsenek mesterséges öntözőcsatornák és persze Mars-lakók sem. Lowell bizakodása vágyvezérelt gondolkodás volt. Viszont, amit máig sziklaszilárdan megtudtunk a Naprendszerről az az, hogy a mintegy kétszáz jelentősebb égiteste között egyetlenegy sincs a Földön kívül, mely alkalmas lenne az intelligens élet hordozására. A változatosságuk is feltűnő: a bolygók és holdak között két egyformát nem találtunk. Mindezek tudatában és persze a Naprendszer mintájára, Donald Goldsmith és Tobias Owen (1993) már egy modernebb megközelítést képviseltek: „Feltételezzük, hogy minden bolygórendszerben lesz egy csoport belső közetbolygó, kigazosodással létrejött atmoszférával, erózióval ugyanabból az okból, amiért a mi belső bolygóinknak is van atmoszférájuk. A mi példánkban ítéelve, az esélyek jónak tűnnek ahhoz, hogy e belső bolygók egyike a csillagja körül a »jó« távolságban fog keringeni... Konzervatív becslésünk szerint minden kettő közül egy.” Ma már ez is csak vágyvezérelt gondolkodásnak tűnik. 2019. május elsejéig 4058 extraszoláris bolygót találtak 3033 rendszerben, amelyből 658-nak több mint egy bolygója van. Ennek az új kutatásnak leginkább figyelemre méltó eredménye az, hogy a bolygórendszerek elképesztően változatosak, egy csomó bizarr környezettel, amely sokkal szélesebb, mint amit az első ilyen bolygó (51 Pegasi b) felfedezése előtt akár csak elképzelni is tudtunk. Például, maga az 51 Pegasi b egy a Földnél 150-szer nagyobb tömegű gázbolygó, ún. forró Jupiter, mely Napunkhoz hasonló csillag körül kering, de nem a rendszer külső régiójában, hanem sokkal közelebb, mindössze kb. 8 millió kilométer távolságban (összehasonlításként a Merkúr–Nap távolság kb. 58 millió km). Több mint ötven Föld-méretű bolygót találtak, de Földhöz hasonló bolygó folyadék állapotú vízzel és atmoszférával még nem került a látótérbe. Az észlelések minőségének növekedésével jó esély van azonban arra, hogy néhányat az elkövetkező évek során felfedezhetünk.

Témánk szempontjából nézve most csak az intelligens lények léte mérvadó. Még ha fel is fedeznének primitív életet a Marson és akár többsejtű szervezeteket is valamelyik bolygón, attól még továbbra is egyedül lennénk, nem lenne senki, akivel kommunikálni tudnánk. Intelligens élet alatt azt értjük, hogy kommunikálni képes a csillagok között, például a rádiótechnológia segítségével. 1960 óta hatalmas parabolaantennák segítségével éppen ezzel próbálkozik a SETI- (Search for Extra Terrestrial Intelligence) program, mindeközéig eredmény nélkül. Hozzátehetjük, hogy a régészeti és geológiai kutatások földön kívüli látogatásokra mutató tényre sem a közelmúltban, sem pedig a földtörténeti múltban nem tudtak bizonyítékkal szolgálni. Nem csoda, hogy egyre többször idézik Enrico Fermi Nobel-díjas fizikus híres mondatát: „hát akkor hol vannak?”

Ward és Brownlee (2004) „ritka Föld” hipotézise azt fejt ki, hogy olyan Földhöz hasonló bolygók, melyek ennyire tökéletesek lennének az intelligens élet számára, mint a mienk, nagyon ritkák, és ha léteznek is, nagyon távol vannak egymástól. Már a Napunk sem gyakori, a csillagok több mint 90%-a kisebb nála, sokuk tömege még a Nap tömegének egytizedét sem éri el. Kis tömegű csillagok körül nem valószínű az intelligens élet, mert jóval kevesebb hőt bocsátanak ki, így egy bolygónak nagyon közel kellene keringeni ahhoz, hogy a víz folyadékállapotban legyen. Ha egy bolygó ennyire közel kerül, akkor a mi Holdunkhoz hasonlóan kötött keringésre kényszerülhet, és ekkor az egyik félteke állandón világos és meleg, a másik állandóan sötét és hideg lesz. Ezen túlmenően, a kis tömegű csillagok egy része nagyon erős UV-sugárzást bocsát ki, mely halálos veszedelem az életre. A Napnál nagyobb csillagok élettartama viszont sokkal rövidebb, működésüket akár azelőtt is befejezhetik, mielőtt körülöttük az élet kihalkulhatott volna. Számos más feltétel is limitálja a szóba jöhető csillagok számát, például a csillag kora, kémiai összetétele, helye a galaxison belül. Az ősrobbanás utáni első 1,5–2 milliárd évben még nem volt elég szén az általunk ismert életformák kialakulásához. Olyan csillagok körül, amelyek hidrogéne és héliumon kívül nem tartalmaznak elég nehezebb elemet is, a kőzetbolygók nem lehetségesek. A galaxis központi része, ahol a legtöbb csillag tartózkodik, erős sugárzások és gravitációs perturbációk miatt különösen veszélyes hely. A csillagok kétharmada kettős csillag, és itt a változó gravitációs erők megakadályozhatják a hosszú ideig tartó stabilitást.

A Föld éppen jó távolságban kering a Nap körül az ún. lakhatósági zónában, vagyis abban a szűk sávban, ahol a víz folyadékállapotban maradt legalább négy-milliárd éven keresztül. Ha csak 1%-kal került volna távolabb a Naptól, teljesen eljegesedett volna, ha 5%-kal közelebb, akkor elszabadult üvegházhatás okozta felmelegedés következett volna be. Mindkettő visszafordíthatatlan folyamat. Fontos tényező, hogy a Föld pályája közel kör alakú, ami biztosítja az éves hőenergia-mennyiség egyenletességét. Egy excentrikus, ellipszis alakú pálya azért is előnytelen, mert egy több bolygóból álló rendszerben növelné annak valószínűségét, hogy egyikük kaotikus gravitációs hatások miatt szétrobbanhat. Még ennél is fontosabb

a bolygó tengelyferdülésének, azaz az adott égitest forgástengelyének és a keringés pályasíkjára merőleges egyenesnek a hajlásszöge és ennek stabilitása. Ez a szög a kialakuló bolygórendszerben lezajlott számos kaotikus ütközés következménye, és a 90 fokot is meghaladhatja, ami retrográd keringést jelent, mint például a Vénusz és az Uránusz esetében (1. ábra). A Föld esetében ez a szög 23,5 fok, ami ideális, mert biztosítja azt, hogy a felszíne évente sem túl hideg, sem túl meleg ne legyen. A tengelyferdülés dőlésszöge a korai Föld- és egy Mars-tömegű égitest ütközésének következménye, mely a Hold keletkezését is okozta. Azt is a Holdnak köszönhetjük, hogy a dőlésszög csak kismértékben változik még hosszú geológiai idők alatt is. Ugyanis a Hold gravitációs forgatónyomatéka stabilizálja a Föld forgástengelyét. A Naprendszer bolygói közül egyedül a Földnek van méretéhez képest nagy méretű holdja, ugyanakkor egyetlen más bolygónak sincs ilyen stabil ferdesége. A Marsé például kaotikusan változott 0 és 60 fok között (bár jelenleg 25 fokkal ez áll legközelebb hozzánk). Kezdetben a Hold nagyon közel keringett a Földhöz, és emiatt az árapály-zóna akár 100 km távolságra is bejuthatott az akkori alacsonyabb domborzatú szárazföldre, és ennek valószínűleg az élet keletkezése szempontjából is jelentősége lehetett (Lathe, 2004). Arra talán nem sokan gondolnak, hogy a 24 órás napokat szintén a Holdnak köszönhetjük. 4,5 milliárd éve, amikor a Föld–Hold-rendszer létrejött, a Föld forgása sokkal gyorsabb volt, egy nap hossza becslések szerint kb. 4 óra lehetett. Az árapály azonban fékezi a forgási sebességünket, ezért a Föld impulzusmomentuma csökken. Az impulzusmomentum megmaradásának törvénye miatt a Holdnak viszont növekednie kell. Ez csak úgy valósulhat meg, ha a Hold pályája egyre távolodik tőlünk. Holdra helyezett lézertükrök segítségével végzett mérések szerint a Hold jelenleg kb. 3,8 centiméterrel távolodik évente, ugyanakkor egy földi nap hossza százévente 0,002 másodperccel növekszik.



1. ábra. A Naprendszer bolygóinak tengelyferdesége

(<http://astro.u-szeged.hu/>)

Az élet szempontjából nagyon fontos tényező a Föld erős mágneses mezeje. Ez a védőernyőnk, ami eltéríti és megakadályozza a kozmikus sugárzást és a gyilkos napszél részecskéket, hogy a felszínt bombázzák. A Naprendszer belső kőzetbolygói közül csak a Földnek van erős mágneses védőernyője. A Merkúr mágneses

mezeje gyenge ahhoz, hogy eltérítse a sugárzást és a részecskebombázást, a Vénusz és a Mars esetében a mágneses mező hiányzik. Az erős mágneses mezőnek a bolygók atmoszférájának és vízkészletének megóvásában is fontos szerepe van. Ezzel magyarázhatjuk, hogy a Vénusz és a Mars, melyek egykor hasonló vízkészlettel rendelkeztek, mint a Föld, mára azt nagymértékben elvesztették. A mágnesesen nem védett Vénuszon és Marson a napszél akadály nélkül hatol a felső atmoszféráig. Amint a hőmérséklet nőtt, a víz valószínűleg disszociálódott, és a mágneses mező hiányában a hidrogént a napszél egyszerűen kiséperte a világűrbe.

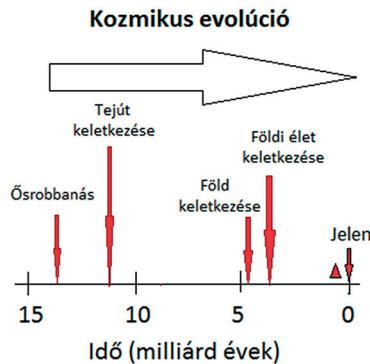
Az életet tekintve fontos lehet egy kőzetbolygó mérete és tömege is. Például, ha a Föld jelentősen nagyobb lenne, a nagyobb gravitáció magasabb életformák számára kedvezőtlenné válna. Ha viszont sokkal kisebb, a víz elszökne az atmoszférából. Valószínű, hogy a méreteknél a lemeztektonika szempontjából is van jelentőségük, mindenesetre a Naprendszerben a kőzetbolygók közül egyedül a Földön működik a lemeztektonika. Ennek hiányában még kiterjedt kontinensek sem léteznének, így talán fejlettebb szárazföldi életformák sem. Továbbá a lemeztektonika egy visszacsatolós mechanizmussal temperálja a Földet, így megakadályozza olyan extrém magas, illetve alacsony hőmérséklet kialakulását, ahonnan nincs többé visszatérés. A vulkanizmus ugyanis üvegházhatású anyagokat, például szén-dioxidot juttat a légkörbe, ami megemeli a hőmérsékletet. Minél nagyobb a hőmérséklet, annál gyorsabbá válik a kőzetek mállása, lebomlása. A kiszabadult kalcium a szén-dioxiddal reagálva mészkövet hoz létre, mely azután a szubdukciós övekben visszajut a Föld köpenyébe. Ez természetesen lehűléssel jár együtt.

Ward és Brownlee (2004) részletezik azokat az eredményeket, amelyek feltárták a fejlettebb életformákhoz vezető folyamatok komplexitását és esetlegességét. Ehhez sok mindenre volt szükség, például klímaváltozások, katasztrofális események, a lemeztektonikai rezsim beindulása, oxigéndús légkör kialakulása és rengeteg idő. A primitív élet sejtmag nélküli (prokarióta) egysejtűek formájában korán, legalább 3,8 milliárd éve jelent meg, további egymilliárd évre volt szükség ahhoz, hogy a valódi sejtmagvas (eukarióta) egysejtűek is létrejöhessenek. Míg a prokarióták csak kis morfológiai változásokat mutattak az elmúlt majdnem négy-milliárd év alatt, addig az eukarióta evolúciós forradalom volt a döntő előrelépés, amely az állatvilág megjelenésében kulminált. Ez talán jobban érthető, ha figyelembe vesszük, hogy egy baktérium és a legegyszerűbb többsejtű állat, mint a laposférgek, komplexitásában a géneik számát tekintve akkora a különbség, mint egy vitorlás csónak és egy óceánjáró hajó között. A mintegy 541 millió éve történt ún. kambriumi robbanás unikum volt a Föld történetében, mivel törzsi szinten az állatvilág majdnem minden modern képviselője hirtelen jelent meg a fosszilis rekordban. Az intelligens élet megjelenésére még várni kellett, a *Homo sapiens* csak kétszázezer éve lépett a színre. Ez az idő a Föld történetének kicsit kevesebb mint a 0,004 százaléka!

Az előbbiekben láthattuk, hogy a Föld esetében milyen sok véletlenszerű csilgászati, geológiai tényezőnek kellett *együttesen* ideálisnak lennie ahhoz, hogy az élet kialakuljon, és ha már kialakult, eljusson a mikrobáktól az emberig. Gondolatban játsszuk le újra és újra bolygónk képződésének filmjét. Kezdjük egy olyan napköddel, amelynek pontosan olyan a tömege és elemi összetétele, mint amilyen a mi Naprendszerünket hozta létre. A számtalan esetlegesség miatt nem fogunk pontosan ugyanolyan bolygórendszert kapni, mint amiben élünk (pl. Malhotra et al., 2001; Spiegel–Turner, 2012). Az ördög ugyanis a részletekben bújik meg. Ehhez bizony sok szerencse is kellett. Gondoljunk csak a kezdetekre, ha egy Mars nagyságú bolygó nem találja telibe a Földet, és annak vasmagja nem növeli meg kb. 10 százalékkal a Föld tömegét, a történet másképp is folytatódhattott volna. Ez csak egy példa, de a Naprendszer kialakulását megszámlálhatatlan kisebb-nagyobb test kaotikus mozgása, azok ütközései jellemezték, melyek során egyes égitestek kilöködhettek a rendszerből. A kozmosz és Föld rendszerben lévő véletlenszerűség egy másik példája, mely minket személy szerint is érdekel az az aszteroida becsapódás, mely 66 millió éve végzett a dinoszauruszok uralmával. Walter Alvarez (2017) szerint mi, emberek csak azért létezőnk, mert a dinoszauruszok kihaltak. Kihalásuk előtt a dinoszauruszok voltak a Föld domináns állatai kb. 160 millió éven keresztül. Hosszú ideje az emlősök is ott voltak már, de soha sem lettek nagy méretűek és változatosak, csak miután a dinoszauruszok megüresedett élőhelyeit elfoglalták. Ami katasztrófa volt a dinoszauruszok számára, az ránk nézve szerencsének bizonyult. Ennek az eseménynek esetleges volta azonban abban is megmutatkozik, hogy a becsapódás helyén a felszín anhidritdús kőzetekből állt, ami a lehető legrosszabb „választás” volt az atmoszféra szennyezése szempontjából (Ocampo et al., 2006). Az anhidrit ként tartalmaz, amely az atmoszférában reakcióba lépve kénsavfelhőket eredményezett. A Föld felszínének csak 13 százaléka épül fel ilyen kőzetekből. Bárhol másutt történt volna a tragédia, a dinoszauruszok jó eséllyel ki sem haltak volna... Azt is figyelembe kell venni, hogy csak az utolsó 550 millió év alatt öt nagy és sok kisebb kihalási esemény volt, melyek közül a legpusztítóbb 252 millió évvel ezelőtt, a perm–triász határon történt. Ez volt a Föld legnagyobb ismert tömeges kihalási eseménye, a tengeri fajok 96, a szárazföldi gerincesek 70, a rovarok 57 százaléka halt ki. Minden ilyen eseménynél az élet kártyáit újraosztják, és az evolúció olyan csoportokat hozhat helyzetbe, melyek a katasztrófa nélkül nem kerültek volna oda.

A 13,7 milliárd éve történt ősrobbanás után a kozmoszban 9,2 milliárd év telt el a Föld és további 4 milliárd év a komplex életformák kialakulásáig (2. ábra). Az élet keletkezése nagyon nehéz, megoldatlan probléma, de általában az evolúció természetes következményének tartják. Ez azonban nem jelenti azt, hogy ilyen végkifejlet mindenütt szükségszerűen meg is valósul. Még mindig bizonyítani kell, hogy az élet létezik vagy létezett a Földön kívül is. Tekintetbe véve a számos esetleges eseményt, amely a Földön ehhez kellett, egyetérthetünk abban, hogy

amennyiben találunk életet a Földön kívül, az valószínűleg valamilyen primitív forma lesz. Komplex állati életformák, ha egyáltalán vannak is ilyenek, ritkák lehetnek az Univerzumban. A Fermi-paradoxonra pedig (ha léteznek intelligens lények rajtunk kívül, akkor miért hallgatnak?), két kézenfekvő megoldás kínálkozik: vagy olyan távol vannak, hogy a kommunikáció fizikailag lehetetlen velük, vagy pedig tényleg egyedül vagyunk az Univerzumban. Mindkét lehetőség, de különösképpen ez utóbbi, azt sugallja, hogy a Föld és az élet kozmikus jelentőséggel bír. Egyben kiemeli etikai felelősségünket abban, hogy megvédjük ritka Földünket és annak élővilágát.



**2. ábra.** Kozmikus evolúció az ősrobbanástól a jelenig.  
A jobb oldali háromszög a primitív állati élet kialakulásának idejét jelzi

(lifeng.lamost.org alapján saját szerkesztés)

## IRODALOM

- Alvarez W. (2017): *A Most Improbable Journey: A Big History of Our Planet and Ourselves*. New York: W. W. Norton and Company
- Bada, J. L. (2005): A Field with a Life of Its Own. *Science*, 307, 5706, 46–46. DOI: 10.1126/science.1106678
- Goldsmith, D. – Owen, T. (1993): *The Search for Life in the Universe*. Reading, MA: Addison-Wesley, Rev. 2<sup>nd</sup> ed.
- Lathe, R. (2004): Fast Tidal Cycling and the Origin of Life. *Icarus*, 168, 1, 18–22. DOI: 10.1016/j.icarus.2003.10.018, [https://www.researchgate.net/publication/222417314\\_Lathe\\_R\\_Fast\\_tidal\\_cycling\\_and\\_the\\_origin\\_of\\_life\\_Icarus\\_168\\_18-22](https://www.researchgate.net/publication/222417314_Lathe_R_Fast_tidal_cycling_and_the_origin_of_life_Icarus_168_18-22)
- Lazcano, A. – Hand, K. P. (2012): Astrobiology: Frontier or Fiction. *Nature*, 488, 7410, 160. DOI: 10.1038/488160a, <https://www.nature.com/articles/488160a>
- Livio, M. – Silk, J. (2017): Where Are They? *Physics Today*, 70, 50. DOI: 10.1063/PT.3.3494
- Lowell, P. (1908): *Mars as the Abode of Life*. New York: MacMillan Company, <https://archive.org/details/marsabodeoflife00loweia/page/n8>



- Malhotra, R. – Holman, M. – Ito, T. (2001): Chaos and Stability of the Solar System. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 98, 22, 12342–12343. DOI: 10.1073/pnas.231384098, <https://www.pnas.org/content/98/22/12342>
- McKay, D. S. – Gibson, E. K. – Thomas-Keppta, K. L. et al. (1996): Search for Past Life on Mars: Possible Relic Biogenic Activity in Martian Meteorite ALH84001. *Science*, 273, 5277, 924–930. DOI: 10.1126/science.273.5277.924, [https://websites.pmc.ucsc.edu/~rcoe/eart290C/McKay\\_ALH84001-PossibleBiogenic\\_Science96.pdf](https://websites.pmc.ucsc.edu/~rcoe/eart290C/McKay_ALH84001-PossibleBiogenic_Science96.pdf)
- Ocampo, A. – Vajda, V. – Buffetaut, E. (2006): Unravelling the Cretaceous-Paleogene (KT) Turnover, Evidence From Flora, Fauna and Geology. In: Cockell, C. – Koeberl, C. – Gilmour, I. (eds.): *Biological Processes Associated with Impact Events*. Heidelberg: Springer, Berlin, 197–219. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.499.2192&rep=rep1&type=pdf>
- Spiegel, D. S. – Turner, E. L. (2012): Bayesian Analysis of the Astrobiological Implications of Life's Early Emergence on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 109, 2, 395–400. DOI: 10.1073/pnas.1111694108, <https://www.pnas.org/content/109/2/395.long>
- Ward, P. D. – Brownlee, D. (2004): *Rare Earth: Why Complex Life Is Uncommon in the Universe*. 2<sup>nd</sup> Rev. NY: Copernicus Books