

Élet: szabály vagy kivétel?

Mi, emberek, különleges jelenségnek számítunk a földi evolúció történetében. Az első lények vagyunk, melyek kellő intelligenciával rendelkeznek ahhoz, hogy társat keressenek maguknak a csillagok között. Jelen tanulmány keretei között azt igyekszem körüljárni, vajon sikerrel járhatnak-e erőfeszítéseink?

Az elmúlt századokban az emberek képzelete különös lényekkel népesítette be a szomszédos égitestek felszínét. Egészen a XX. század elejéig sokakban élt a remény, hogy a Hold, a Mars, a Vénusz és ki tudja, még hány Naprendszerbéli égitest lakott lehet, hasonlóan a Földhöz. A század második felében azonban a csillagászat és a rakétatechnika fejlődése megcáfolt minden optimista reményt.

A téma iránt igen fogékony álmódzóik még ekkor sem adták fel. A képzelet ereje hamar szétfeszítette a határokat, és rejtélyes idegen lényekkel népesítette be a távoli csillagok világát. Ez idő tájt élte első fénykorát a tudományos-fantasztikus irodalom, mely számos tehetséges fiataalt „fertőzött meg” a Földön kívüli élet nagyszerű látomásával. Néhányan közülük később fáradságot nem kímélve bebizonyították, az idegen civilizációk utáni kutatásnak van tudományos létjogosultsága is. Olyan kitűnő munkát végeztek, hogy napjainkra a Naprendszerben végzett exobiológiai kutatások a legnagyobb támogatottságot élvezik a nemzeti űrprogramokban, míg az exobolygók utáni nagyszabású hajszá csillagászok ezreit tartja lázban. Az Internet számítógépes hálózatán keresztül ma már laikusok millió is bekapcsolódhatnak a SETI-programok¹ eredményeinek kiértékelésébe, s így kijelenthetjük: a Földön kívüli élet lehetőségének vizsgálata ugyanúgy a tudomány fontos részévé vált, mint a fizika vagy a matematika tanai.

Mivel eme vadonatúj tudományterület fejlődését soha nem látott érdeklődés kíséri szerte a világon, időszerűnek tűnik, hogy feltegyük a kérdést, mennyi az esélye annak, hogy az ember valaha intelligens életre bukkan a Földön kívül?

A tudomány megbízhatóságra törekszik, ezért mindig igyekszik jól definiálható képletekbe és tényezőkbe gyömöszölni a világ folyamatait. Nincs ez másképp most sem. Még az 1960-as években indultak az első olyan rádiócsillagászati megfigyelések, melyek idegen civilizációk üzeneteire vadásztak. Az Egyesült Államokban az első komoly programot – az OZMA-terv részeként – Frank D. Drake vezette, aki a róla elnevezett Drake-formulával írta be a nevét a tudomány történetébe.²

Drake fejében akkor fogalmazódott meg az összefüggés, mikor társaival azt próbálta megbecsülni, mekkora lehet az esélye két Tejútrendszerbéli civilizáció közötti sikeres párbeszédnek.

A bűvös képlet a következőképp állt elő: $N = N_x \cdot f_N \cdot f_b \cdot n_b \cdot f_e \cdot f_i \cdot f_t$, ahol az egyes szimbólumok jelentése a következő:

- N_x : a csillagok száma a galaxisunkban
- f_N : a napnak alkalmas csillagok részaránya
- f_b : a bolygórendszerek kialakulásának valószínűsége
- n_b : az életre alkalmas zónában elhelyezkedő égitestek száma egy rendszeren belül
- f_e : az életre alkalmas égitesten az élet kialakulásának valószínűsége
- f_i : az intelligencia megjelenésének valószínűsége
- f_t : A technikai civilizáció kialakulásának valószínűsége az intelligens életformák között.

A fenti egyenlet minden egyes tényezőjének kiszámítása után „egyszerűen” előáll a Tejútrendszerben valaha létezett, éppen létező vagy az elkövetkezőkben várhatóan kifejlődő intelligens, kapcsolatteremtésre képes civilizációk száma (N).

Bennünket azonban nem ez érdekel igazán. A pillanatnyi állapot felméréséhez be kell vezetnünk az egyidejűség feltételét is. Ekkor a képlet két további tényezővel bővül:

$$N = \frac{N_x}{T_g} \cdot f_N \cdot f_b \cdot n_b \cdot f_e \cdot f_i \cdot f_t \cdot T_c$$

Ahol a T_g a Tejútrendszer várható élettartamát, az N_x / T_g hányados a csillagok keletkezési gyakoriságát, míg a T_c a technikai civilizációk várható élettartamát jelenti.³

Vagyis a lehetőségeink felméréséhez nem elég megbecsülni a civilizációk előfordulási valószínűségét. Ha pontos eredményt szeretnénk, azt is figyelembe kell vennünk, hogy nagyjából ugyanakkor kell a kommunikációra vágyó feleknek eljutni a megfelelő fejlettségi szintre, különben hiába minden erőfeszítés, nem talál értő fülekre (vagy más érzékszervekre) az elküldött információ.

A levezetett matematikai megközelítés maradéktalanul megfelel a tudományos látásmódnak, de mint megannyi más statisztikai modell, csak nagy mintaszám esetén ad pontos becslést. Márpedig az emberiség előtt jelenleg csupán egyetlen példa áll, és azt sem ismerjük minden szempontból kielégítő részletességgel. Így nem csoda, hogy súlyos nehézségekkel találjuk szemben magunkat, mikor olyan tényezők becslésére adjuk a fejünk, amelyek az élet keletkezésével, az intelligencia előfordulásával, vagy a technikai civilizációk kialakulásával kapcsolatosak. Ha pedig az egyidejűség feltételeit is meg kívánjuk vizsgálni, egy olyan paraméter becslésére készülünk, amely felől semmiféle információ sincs, azaz nem tudjuk megmondani, hogy a rádióüzenetek adás-vételére képes emberi civilizáció meddig fog fennmaradni. Ettől függetlenül nincs más út a tudományos megismerés felé, mint a fenti tényezők részletes számbavétele, és a jelenlegi ismereteinkre támaszkodó feltevések összegyűjtése.

A csillagok száma a Tejútrendszerben (N_x)

A csillagászati eszközök szakadatlan fejlődése egészen pontos képet festett elénk tágabb csillagászati környezetünkről. A bolygó, amelyen élünk, egy egészen átlagosnak tűnő csillag – a Nap – körül kering, amely pedig egy hatalmas spirális galaxisban szeli az űrt százmilliárd társával együtt.

A spirális galaxisok igen elterjedt képződmények a világegyetem belátható részében, és a csillagok mellett irtatlan mennyiségű port és gázt is magukban foglalnak. A karok legnagyobb tömegét ezek a gigászi felhők képezik, melyek a csillagokhoz képest eltérő sebességgel haladnak a galaxis magja körül, és spirálisan feltekeredni látszanak. Ez a hatás (ún. sűrítőhullám-effektus) a folyamatos csillagkeletkezés elsődleges felelőse, és roppant fontos összetevője a lehetséges életfeltételek kialakulásának.⁴

A Napnak alkalmas csillagok részaránya (f_N)

Ahhoz, hogy egy csillag környezetében élet alakulhasson ki, számos feltételnek kell megfelelnie. A legfontosabb, hogy élettartamának több milliárd év hosszúnak kell lennie, épp ezért nem lehet túlzottan nehéz, mert a csillagok élettartama elsősorban a tömegüktől függ.

Egy Nap nagyságú csillag élettartama akár a 10 milliárd évet is elérheti, míg 10 Naptömegnél nehezebb társa néhány millió év alatt feléli alapanyagát, és egy hatalmas robbanás kíséretében összeomlik.

További fontos szempont, hogy a jelöltnek nehezebb elemeket is tartalmaznia kell (szén, nitrogén, oxigén stb.), mert ezek nélkül az élet kialakulására nincs lehetőség. A kistömegű csillagok magjában azonban nem elég magas a hőmérséklet ahhoz, hogy ezek létrejöjjenek.

A Tejútrendszerben jelenleg az úgynevezett másod- és harmadgenerációs csillagok felelnek meg leginkább az elvárásoknak. Az ilyen csillagok elég fiatalok ahhoz, hogy protoszoláris felhők más, nagy tömegű csillagok nehéz elemekben gazdag szuper-nóva maradványaival szennyeződjenek.

A hosszú életű és kellően „szennyezett” csillagok közül is csak azok válhatnak élethordozókká, melyek stabil működésűek (nem változócsillagok), és meglehetősen kiegyensúlyozott gravitációs rendszer tagjai. Ez utóbbi feltétel azért különösen fontos, mert a több csillagot tartalmazó rendszerekben (a csillagok nagy része kettős és hármas csoport tagja), csak úgy alakulhatnak ki állandósult bolygópályák, ha valamelyik égitest domináns, és körülötte keringenek a többiek. Akár a Naprendszer esetében, ahol a legnagyobb tömeget maga a Nap képviseli, így még a legnagyobb kísérők (Jupiter, Szaturnusz) is egyértelműen gravitációsan hozzá kötődnek.

Minden, csillagokkal szemben támasztott szigorú követelményt figyelembe véve, körülbelül a 10%-uk bizonyulhat élet hordozására alkalmasnak, ami igen nagy mennyiséget jelent.⁵

Más csillagok körül kialakuló bolygórendszerek valószínűsége (f_b)

Sokáig kérdés volt, hogy a Naprendszeren kívül is léteznek-e bolygószerű kísérők. Mára az észlelési technika fejlődése lehetővé tette az exobolygók közvetett (központi csillag mozgása alapján történő), vagy szerencsés esetben akár közvetlen (mikro-gravitációs lencse hatás, vagy nagyteljesítményű infra űrteleszkóp segítségével végzett) megfigyelését is. 2004 júliusáig 108 csillag körül 123 exobolygó felfedezését jegyezték fel a csillagászok, és ez a szám azóta is napról-napra növekszik. A szaporodó megfigyelések arra engednek következtetni, hogy a bolygókísérők viszonylag gyakoriak a csillagok körül. De amennyire váratlanul sok bolygót fedeztek fel, annyira különös, hogy az eddig felfedezett exorendszerek nem túlzottan emlékeztetnek a Naprendszerre. Majd mindegyik esetben a Jupiter méretű (vagy még annál is nagyobb) kísérők egészen közel keringenek a központi égitesthez, és a keringési pályák is inkább hasonlítanak a Plútó elnyújtott ellipsziséhez, mint a Naprendszerben megfigyelt közel kör alakú pályákhoz.

A megfigyelő műszerek képességei természetesen nagyban behatárolják a bolygó-

rendszerekről nyerhető információkat, hiszen egy nagy tömegű közeli kísérő sokkal nagyobb hatással van csillagára, mint egy Föld típusú távolabb keringő kőzetbolygó, így ennek kimutatása is nehezebb (jelenleg éppenséggel lehetetlen). Mégis lényegesen befolyásolja a bolygók kialakulásának elméletét a felfedezett rendszerek szerkezete. Úgy tűnik, hogy a Naprendszerhez hasonló bolygórendszerek kialakulásához sokkal több feltételnek kell teljesülnie, mint a megfigyelt szabálytalanabb exorendszerek létrejöttéhez.

Más csillagok körül keringő bolygók tulajdonságai alapján úgy tűnik, az élet lehetőségét hordozó stabil kőzetbolygók száma alacsonyabb lehet, mint azt a Naprendszer felépítése alapján korábban gondoltuk. Talán a Naprendszert mégis egyedisége tette élethordozóvá?⁶

Élre alkalmas égitestek száma egy megfelelő rendszeren belül (n_b)

Bonyolultabb szerves molekulák keletkezéséhez megfelelő feltételekkel rendelkező égitestek számának megbecslésénél egyelőre csak a Naprendszerbéli tapasztalatokra támaszkodhatunk. Külön tudományág – az asztrobiológia – foglalkozik az égitesteken található lehetséges életterek feltárásával. A vizsgálatok laboratóriumi kísérletek mellett ma már a felszínen végzett közvetlen megfigyelésekkel is folynak.

A legfontosabb kutatási terület továbbra is a Föld. Roppant fontos feladat feltárni a lakóhelyünk lehetséges rejtett élettereit, mert ennek alapján más bolygókon is megtalálhatjuk az élet nyomait. Az utóbbi években a tudósok számos olyan helyen fedeztek fel szerves lényeket, ahol sosem várták. A földkéreg sötét zugaitól kezdve, az óceánok félelmetes mélységein át, a déli sark fagyos talajáig a Földön mindenütt jelen van az élet, ami reménnyel kecsegtet arra nézve, hogy a Naprendszeren belül másutt is a nyomára bukkanhatunk.

Erre a legesélyesebb jelölt a Mars. A felszínen több kutatási program is zajlott, illetve kettő a mai napig is tart (a Spirit és az Opportunity marsjárók segítségével). Ezen kívül az elmúlt években a Mars felszínét különböző szondák folyamatosan figyelték, és figyelik most is (a Mars Global Surveyor 1997 óta, a Mars Odyssey 2002 óta, a Mars Express 2004 óta).

Az elmúlt évek legjelentősebb felfedezése mindenképpen az, hogy a Mars felszínén valaha folyékony víz volt, és ennek jelentős része a sarki vízjég sapkákban, valamint a talaj felszín alatti rétegeiben fagyott állapotban ma is megtalálható. Tekintettel arra, hogy a földi élet alapjának a vizet tekintjük, igen jók az esélyek, hogy a Mars egyenlítői vidékein (ahol nyáron akár a +10°C-ot is elérheti a hőmérséklet) kedvező körülmények alakuljanak ki egyszerű szerves életformák létrejöttéhez, és további fejlődéséhez. Erre keresi a közvetett bizonyítékot a Mars Express űrszonda rendkívül érzékeny gázösszetétel-elemzője.

Az élet mindig hatással van a környezetére. Még a legegyszerűbb szervezetek is felfedezhetők, mert gázokat bocsátanak ki magukból anyagcseréjük közben. Ezekre a gázokra – főleg a metánra – vadásznak a szonda műszerei. A vizsgálatok azt mutatják, hogy a vízben gazdagabbnak vélt területek környezetében a légköri metán koncentrációja is nagyobb, azaz valamilyen folyamat során folyamatosan újratermelődik. Az adatok jól modellezhetők bakteriális élet feltételezésével, de természetesen más okai is

lehetnek. A kutatók véleménye az, hogy a Marson legnagyobb a valószínűsége annak, hogy egyszerű szerves életformák nyomaira bukkanunk a közeli jövőben.

A Mars nem egyedüli jelölt. A Naprendszer legnagyobb óriásbolygója, a Jupiter is tartogat meglepetéseket számunkra. Mini „naprendszere” energiában rettentően gazdag, és a négy nagy bolygóméretű holdja (Io, Europa, Callisto, Ganymedes) elég közel kering hozzá ahhoz, hogy ezeket az energiákat megcsapolja.

A legközelebb keringő Io-t például oly mértékben átjárja a Jupiter ár-apály fűtése, hogy az idők folyamán a Naprendszer geológiai értelemben legaktívabb égitestévé vált. Kissé távolabb kering az Európa Holdunknál kissé nagyobb jégglóbusza, mely a Voyager űrszondák és az évekig a rendszerben dolgozó Galileo űrszonda vizsgálatai alapján az egyik legnagyoszerűbb élethordozó jelöltté lépett elő.

Ahogy azt Arthur C. Clarke az Űrodisszeia történeteiben is felvetette, az Európa fagyott vízjég kérge alatt várhatóan több száz kilométer mély vízóceán kavargog. Az Európa belsejét a radioaktív elemek bomlásából származó hőn kívül a Jupiter ár-apály erői is fűtik, de a Jupiter ionoszférájából és a Naptól származó nagyenergiájú, életre veszélyes sugárzást a néhány kilométer vastag jégtakaró könnyedén elnyeli. Így a Földön is megtalálható mélytengeri „fekete füstölőkhoz” hasonlatos, ásványi anyagokban gazdag melegvízforrások körül zavartalanul fejlődhet az extermofil (nagy nyomást és hőmérsékletet is elviselő) bioszféra. Merészebb tudósok képzeletben már fejlettebb létformákkal is benépesítik az Európa külső behatásoktól védett sötét óceánjait.

A Jupiter másik két nagy holdja, a Callisto és a Ganymedes is rendkívül sok vizet tartalmaz fagyott állapotban, de túl távol keringenek ahhoz, hogy az ár-apály erők tartósan folyékony állapotban tartsák azt. Ettől függetlenül mindkettő felszíne alatt lehetnek olyan helyek, ahol tartósan kedvező állapotok uralkodhatnak a szerves vegyületek keletkezése számára.

A Naptól még távolabb keringő Szaturnusz legnagyobb holdja a Titán, mely egymaga a Naprendszer összes szilárd felszínű égitestjén található vízkészlet több mint háromnegyedét tartalmazza. Ez a különleges égitest nagyobb a Merkúr bolygónál (ahogy a Ganymedes is) és felszínét sűrű légkör takarja a távcsövek fürkésző tekintete előtt. A Szaturnusz rendszerében járt Voyager szondák és a jelenleg is ott dolgozó Cassini-Huygens űrszonda mérései alapján a Titán légköri nyomása a másfél atmoszférát is meghaladja a felszínen, és összetétele nagyon hasonlít az ősi Föld légköréhez (legnagyobb részét nitrogént és más egyszerű szénhidrogén vegyületeket tartalmaz). A Titán felületi hőmérséklete -180°C , így a víz csak fagyott állapotban van jelen rajta, de a metán és az etán folyékony formában is előfordul, és a Huygens leszállóegység fotói alapján folyókat, tavakat alkot.

A mérések szerint, a Titán légkörében lévő szénhidrogének a Nap és a Szaturnusz nagyenergiájú sugárzásának, valamint a kozmikus sugárzásnak hatására hosszabb láncokká állnak össze, melyek a légköri nitrogénnel reakcióba lépve aminosavakat képeznek. Ezek a vegyületek fajsúlyuknál fogva lesüllyednek és leülepednek a szénhidrogén tavakban, ahol még komplexebb molekulák képződhetnek belőlük. A tudósok szerint valaha a Földön is hasonlóképpen zajlottak a prebiotikus folyamatok.

A Naprendszerben további helyek is szóba jöhetnek: elsősorban az óriásbolygók légkörének stabil tartományai, valamint a kisbolygók és üstökösök felszín alatti rétegei, de ezek egyelőre inkább a fantázia termékei, mintsem valós lehetőségek, mivel itt nem feltétlenül áll minden rendelkezésre a szerves molekulák tartós fennmaradásához.

Ha ezeket az extrém élőhelyeket nem is számítjuk, a stabil exorendszerekben még így is számos lehetőség mutatkozik a szerves molekulák önszerveződésének biztosítására.⁷

Az élet valószínűsége olyan helyen, ahol a feltételek megfelelőek (f_6)

Az élet keletkezési valószínűségének mérlegelésekor nem csak a kialakulásra, hanem a fennmaradásra is hangsúlyt kell fektetnünk. Könnyen előfordulhat ugyanis, hogy egy bolygó virágzó bioszférája kataklizmikus hatások miatt kipusztul. Ilyen kataklizmák számtalan esetben pusztítottak a Földön is, de szerencsénkre nem jártak teljes sikerrel, sőt bizonyos mértékben hozzájárultak a fejlődéshez is. A teremtő és pusztító hatások számbavétele így egyformán fontos. Ha megvizsgáljuk a Naprendszer születésének elképzelt menetét, megérthetjük az élet keletkezésének és fennmaradásának alapvető feltételeit.

Jelenlegi ismereteink alapján a Nap története úgy 5 milliárd évvel ezelőtt vette kezdetét egy porfelhő gyomrában. Ez a protoszoláris felhő ekkor éppen a Tejútrendszer egyik spirálkarjának közelébe ért. Maguk a spirálkarok gigantikus gázfelhőkből és rengeteg csillagból állnak. A gravitáció törvényei miatt a csillagok a karoktól eltérő sebességgel mozognak. A maghoz közelebb esők gyorsabban, a távolabbiak lassabban haladnak, így időről időre keresztezik azokat. A karral együtt mozgó égitestek az úgynevezett korrotációs körön tartózkodnak, mintegy 34.000 fényévre a magtól (a Tejútrendszer átmérője 100.000 fényév). A Naprendszer egy kicsivel a korrotációs körtől beljebb helyezkedik el (30.000 fényévre), így néhány milliárd évenként keresztülhalad egy karon.

A számítások szerint a Nap bölcsőjéül szolgáló protoszoláris felhő pályája úgy 4,9 milliárd évvel ezelőtt keresztezte az egyik spirálkart. A megnövekedett anyagsűrűséggel ütközve a felhőben nyomáshullámok keletkeztek, melyek anyagcsomók kialakulásához vezettek. A spirálkarokban sok az anyag, így sok nagytömegű és rövid élettartamú csillag jön létre bennük. Ez az élet későbbi keletkezése szempontjából roppant fontosságú, mert a lassan sűrűsödő protoszoláris felhő nagyrészt csak hidrogént tartalmazott, és híján volt a nehezebb elemeknek. A karokban lévő nagytömegű csillagok fúziós kohóiban létrejött nehezebb elemek a csillagok katasztrófaszerű összeomlásakor szétszóródnak az űrben, és beszennyezik a környező gázfelhőket. Másrészt a szupernóvák lökéshullámai fel is gyorsítják a környező felhők csomósodásait.

Úgy 4,8 milliárd évvel ezelőtt a Naprendszer szülőbölcsője egy szupernóvává váló csillag mellett haladt el, és sok nehéz elem mellett radioaktív jód- és plutónium izotópokkal keveredett. A robbanás lökéshulláma darabokra szaggatta a felhőt, és néhány millió év alatt fiatal csillagok tucatjainak adott életet.

A pislákoló Napot ekkor még sűrű anyagfelhő vette körül (hasonlóan a β -Pictoris csillag mai képéhez), és ez nem is változott volna sokáig, ha úgy 4,5 milliárd évvel ezelőtt egy újabb szupernóva pusztító lökéshulláma el nem éri. A második robbanás további nehéz elemek mellett radioaktív alumíniumot is kevert a fiatal naprendszer anyagába, melyet a meteoritokban (a korábbi jódhoz és a plutóniumhoz hasonlóan) a mai napig fel lehet fedezni.

A radioaktív anyagok felezési ideje alapján a tudósok akár még most is vissza

tudják számolni a szennyeződés idejét. Innen tudjuk, hogy ez a második robbanás igen komolyan hozzájárult ahhoz, hogy a fiatal Napot körülvevő gáz- és porburok bolygókká állhatott össze.

Mire azonban a bolygók csírái kialakultak, a Naprendszer befejezte útját a spirálkarban. Éppen időben, ugyanis egy újabb külső behatás könnyen kaotikussá tehetné volna a kialakuló bolygók pályáit. De szerencsére a Naprendszer időben elhagyta a viharos zónát, és megkezdte hosszú útját a jóval nyugodtabb, karok közötti csillagközi térben.

A Naprendszer példája alapján úgy tűnik, ahhoz, hogy megfelelően stabil bolygórendszer alakuljon ki egy csillag körül, nem tartózkodhat sem túl sokáig, sem túl rövid ideig a spirálkarok viharos vidékein. A nehezebb elemekre és a külső lökéshullámokra mindenképpen szükség van a genezishez, de a túl nagy és túl sok robbanás végzetes is lehet a rendszer egyensúlyára nézve. Talán nem véletlen, hogy az eddig felfedezett exorendszerek annyira különböznek a Naprendszertől (főleg a stabil körpályán keringő bolygók hiányoznak). Lehet, hogy a Naprendszer szerencsés véletlenek egybeesésének (kellő számú és megfelelő időben bekövetkező robbanásnak) köszönheti jelenleg megfigyelhető szabályos szerkezetét.

A Nap tehát nem lehetne akárhol a galaxisunkban. Ha sokkal közelebb lenne a maghoz, túl sűrűn metszené pályája a spirálkarok viharos vidékét, így a pusztító robbanások és a magas sugárzási szint jelentősen csökkentené az összetett molekulák fennmaradási esélyeit. Az sem lenne szerencsésebb, ha a Nap távolabb keringene a Tejútrendszer középpontjától, mivel ott kisebb a csillagsűrűség, és ritkábban fordulnak elő a nehéz elemek. Valószínű, hogy a Nap keringési pályája a galaxis olyan tartományában van, ahol nagy az esélye annak, hogy a fiatal csillagok körül stabil közetbolygókat tartalmazó bolygórendszerek alakuljanak ki.⁸

Persze, a csillag megfelelő helyzete csak előfeltétel az élet létrejöttéhez. A mai elképzelések szerint a molekuláris evolúció beindulásához hosszan tartó kedvező körülményekre van szükség. A földi élet tanulmányozása alapján elmondható, ha ezek a feltételek megvannak, az élet minden bizonnyal megveti lábát a területen. Optimista feltételezések szerint az élet kialakulását az anyag önszerveződésének szigorú szabályai vezérlik, azaz ha van rá mód, a szerves molekulák automatikusan bonyolultabb rendszerekké szerveződnek.⁹

Mindennek azonban könnyen véget vethet egy bolygóközi katasztrófa. Egy kisbolygó méretű test becsapódása óriási pusztítást vihet végbe, és olyan mértékben megváltoztathatja a környezeti feltételeket, hogy a prebiotikus folyamatok teljesen leállhatnak.

Egy frissen kialakult bolygórendszerben a kisebb-nagyobb törmelékek szabadon „száguldoznak”, amíg a komolyabb gravitációval rendelkező bolygómagok be nem fogják őket. Egy-egy ütközés olyan energiákat közvetíthet, melyek kibillenthetik a stabil bolygókat pályájukról. Így az életet hordozó bolygónak kellően szerencsésnek kell lennie ahhoz, hogy a túlzottan nagy ütközéseket elkerülje. Ebben segítségére lehet egy nagy tömegű kísérő égitest, mely képes stabilizálni a pályáját, ill. gravitációs hatásával eltérítheti a lehetséges pusztító vándorokat. Talán a Holdnak is köszönhető, hogy a Földön kialakult élet csírái idő előtt nem semmisültek meg.

Tegyük hát fel a kérdést újból: mennyi az esélye az élet kialakulásának egy csillag bolygórendszerében?

A válasz előtt mindenképp fel kell hívnunk a figyelmet arra, hogy a véletlen fo-

lyamatok statisztikai módszerekkel nem kezelhetők, mivel előfordulhat, hogy sohasem ismétlődnek meg. Tehát a környezet vizsgálatával nem feltétlenül juthatunk közelebb az élet előfordulási gyakoriságának megítéléséhez. Sokkal előrébb mutatnak azok a kutatások, melyek az élet alkalmazkodó-képességének felmérésére irányulnak.

Korábban láttuk, hogy sokféle környezet lehet alkalmas az élet hordozására, de számtalan feltételnek kell teljesülnie ahhoz, hogy az fent is maradhasson. Minél alkalmazkodó-képesebbek tehát a prebiotikus csirából kifejlődő egyszerű szervezetek, annál nagyobb esélye van az élet kialakulásának és további fejlődésének.

Az intelligens lények kifejlődésének valószínűsége (f_j)

A biológiai kutatások a XX. század végére bebizonyították, hogy a ma is létező egyszerű és ősi földi szervezetek roppant ellenállóak mindenféle külső behatással szemben. A Föld korai története során erre a tulajdonságukra minden bizonnyal szükségük is volt. Ezek az egyszerű élőlények a földkéreg és az óceánok mélyének rejtett zugaitól a légkör felső határáig mindenütt képesek megélni, mégsem ezek jellemzik a földi bioszférát. A Földön jelenleg igen összetett ökoszisztéma működik, mely több százmillió évnnyi fejlődés eredménye. Ha olyan jól tudnak alkalmazkodni az ősi szervezetek a mostoha körülményekhez, mégis miért fejlődött oly összetetté az élet?

A válasz egy újabb folyamatra világít rá, mely roppant fontos ahhoz, hogy megértsük az élet fejlődésének okát. Korábban azt hangoztattuk, hogy az élet kialakulásának feltétele a stabil és megfelelő jellemzőkkel bíró környezet. Ez minden bizonnyal így is van, de ez csupán a legegyszerűbb életformák létrejöttéhez elégséges. Bonyolultabb élő szervezetek kialakulásához finoman, de folyamatosan változó környezetre van szükség. Ebben az esetben ugyanis egy újabb tényező lép be a fennmaradásért folytatott küzdelembe: az evolúció.

Az ősi Föld elképzelt felépítése szinte semmiben sem hasonlít a mai állapotra. A változások, melyek egy részét maguk az élő szervezetek idézték elő, arra kényszerítették az egyszerű élőlényeket, hogy egymással versengjenek az energiáért, ill. az élethez szükséges alapanyagokért. A verseny egyre jobban kiemelte az egyes szervezetek közti eltéréseket, és azokat, melyek egy adott élettér betöltésére alkalmasabbak voltak, előnyhöz juttatta. De miért nem változtak meg azok az ősi extermofil élőlények, melyek a Föld különböző – más lények által kibíratatlan – körülményei között élnek?

A válasz egyszerű: mert nem kényszerítette őket a környezet megváltozása. Bonyolult életformáknak ugyanis csak akkor van előnyük, ha folyamatosan változó környezethez kell alkalmazkodniuk. Ilyenkor az élő szervezetnek sokkal többre kell felkészülnie, mint ami a valós elvárás egy adott élettérben, hiszen egy gyors változás esetén a faj fennmaradását jelentheti egy-egy kedvező lappangó tulajdonság. A Föld máig is változatlan élőhelyein ugyanazok a lények élnek, mint százmillió évvel korábban. A Föld felszínén ellenben olyan körülmények alakultak ki (ár-apály, éjjel és nappal váltakozása, évszakok, napciklusok stb.), melyekhez az összetettebb életformák sikeresebben tudtak alkalmazkodni, mint az egyszerűbbek. Ahogy az élőlények bonyolultabbá váltak, egy különleges képességük alakult ki. Olyan helyzetekhez is képesek voltak alkalmazkodni, melyek gyökeresen eltértek az addig megtapasztaltaktól (így jutottak ki a vízi élőlények a szárazföldre). Ezt a tulajdonságot már Darwin is

felfedezte, és preadaptációnak (előzetes alkalmazkodásnak) nevezte el. Kissé részletebben ez azt jelenti, hogy az összetettebb élő rendszerek egy fajba tartozó egyedei között nagyobb lehet az eltérés, mint az egyszerűbbek között, mivel több a variációs lehetőség az alrendszerek (pl.: szervek) kapcsolódásában. Így olyan lényegtelen különbségek alakulhatnak ki (pl.: úszóhártyás kéz), melyek nem szolgálják a megszokott környezetben az élőlény könnyebb boldogulását, de némely rendkívüli helyzetben egyedüli lehetőséget biztosítanak a túlélésre.

A preadaptáció a szervezetek bonyolultságának növekedésével egyre inkább előtérbe kerül, és egyre nagyobb előnyhöz juttatja az adott faj egyedeit egy hirtelen bekövetkező változással szemben. Az időszakosan a Földet érő óriási kataklizmák (becsapódások, éghajlatváltozások, vulkáni tevékenységek, közeli szupernóva robbanások stb.) a felszín élővilágát időről időre megtizedelték, elősegítve ezzel azoknak a bonyolultabb, de jobban preadaptálódó lényeknek a létrejöttét, melyek jelenleg is a bioszférát alkotják.

A jelenlegi fejlett élő szervezetek (mint az ember) kialakulásához tehát elengedhetetlen bizonyos mértékű pusztítás, mert ezzel olyan élőlények juthatnak előnyhöz, melyek felépítésben ugyan bonyolultabbak, de preadaptációs képességeik miatt mégis előnyben vannak az egyszerűbb szervezetekkel szemben.

Az intelligencia megjelenése is ennek a folyamatos preadaptációs fejlődésnek az eredménye. Annak megbecslése azonban, hogy egy patkányszerű ősemlősből milyen valószínűséggel alakul ki emberi intelligencia, a tudomány számára megoldhatatlan feladat. Egy faj preadaptációs képességeinek fejlődését ugyanis előre nem lehet megjósolni, mivel ehhez ismerni kellene, hogy a jövőben milyen változásoknak lesz az kitéve. Tehát a fejlődő bioszféra olyasmire képes, amit előre kiszámítani nem lehet. Tudományosan: az evolúciós folyamatok által vezérelt, változó környezethez alkalmazkodó élet előre nem jelezhető módon kreatív képződmény. Magyarán szólva akármi kialakulhat belőle, még az emberéhez hasonló intelligencia is.¹⁰

Ez az igazi magyarázata a földi bioszféra nagyfokú alkalmazkodóképességének, és ez a folyamat talán a világegyetem más tájain is képes ellensúlyozni a kezdeti feltételek roppant kis valószínűségét (stabil csillag, stabil bolygórendszer, ritka, de néha mégis bekövetkező katasztrófák).

Technikai civilizáció kialakulásának valószínűsége (f)

Az imént láthattuk, hogy ismereteink szerint az intelligencia kialakulása a változó környezethez való gyors alkalmazkodás kényszerének következménye. Ha így nézzük, a technikai civilizáció is pontosan ezt a célt szolgálja, de oly módon, hogy a faj egyedeinek preadaptációs fejlődése helyett a műszaki alkotások segítségével teszi az intelligens életformát egyre több élettérben uralkodóvá. A kifejlesztett eszközök segítségével az intelligens élőlény saját igényei szerint alakíthatja maga körül a környezetét. Ez mennyire lehet szükség szerű? Pontosan annyira, amennyire az alkalmazkodóképességre egyébként szükség van az adott környezetben.

Példának okáért: ha a Földet újabb hatalmas aszteroida becsapódása fenyegetné, jelenleg az ember egyedül a tudomány vívmányainak segítségével biztosíthatná a faj fennmaradását. Erre a technikai civilizáció nélkül esélye sem lenne, így a technikai

civilizáció újabb példa lehet a az előzetes alkalmazkodásra, és mint ilyen, feltétlenül a faj fennmaradását szolgálja. Persze, ugyanezek a technikai eszközök az élet kioltására is nagyszerűen alkalmasak lehetnek rövid vagy hosszú távon egyaránt. Így, ha egy faj nem a megfelelő sorrendben hasznosítja a technikai fejlődés eszköztárát, a természetes szelekció ugyanúgy lesújt, mint bármely más evolúciós „találmány” esetében.

Jelenleg nincs rá mód – és valószínűleg sohasem lesz –, hogy előre megmondjuk, hová vezethet a technikai fejlődés a Földön. Hasonló okokból, mint az élet fejlődése esetén, itt sem láthatók előre a változó külső behatások, és így nem következtethetjük ki a kezdeti értékekből a végkimenetelt, de más irányból közelítve tehetünk azért némi előrelépést.

A technikai civilizáció lehetővé teheti egy intelligens faj számára, hogy az élet határait kiterjessze a szülőbolygóján túlra. Ezzel feltétlenül az evolúció célját, a jobb alkalmazkodóképességet szolgálja a túlélés érdekében. A terjeszkedést szem előtt tartva az élet fennmaradásának biztos kulcsa lehet, ha olyan élőlények jönnek létre, melyek képesek a kiindulási környezet elhagyására (végzetes kataklizmák hatásai alól mentesülhetnek), de még nagyobb biztonságot jelenthet, ha csillagközi utazást is meg tudnak valósítani. Ekkor akár a központi csillag működésétől is függetlenné válhat a kialakult élet fennmaradása.

Felmerül a gyanú: talán a technikai fejlődés az egyetlen járható út arra nézve, hogy a világegyetemben az élet ne tűnhesen el többé soha?¹¹

Technikai civilizációk fennmaradásának várható ideje (T_c)

Ha a szükségszerű terjeszkedés előbbi gondolatmenetét extrapoláljuk, akkor egy olyan fejlődési vonalat vetíthetünk ki, melynek végén galaktikus nagyságú „birodalmak” állnak. Az ember talán valamikor – évezredek múltán – képes lesz rá, hogy birtokba vegye az egész Tejútrendszert. Később – millió évek múlva – az sem elképzelhetetlen, hogy technikai eszközökkel magát a Világegyetemet, vagy annak egy részét alakítja át úgy, hogy az élet céljait jobban szolgálja. Az sem kizárt, hogy más civilizációk ezt évmilliókkal ezelőtt már megtették, vagy éppen mostanában fognak hozzá, bár ennek nyomait műszereinkkel még nem fedeztük fel.

Józanabb fejvel gondolkodva azt kell, hogy mondjuk: néhány száz éven belül az ember nem fogja uralmát kiterjeszteni közvetlen csillagkörnyezetén kívülre. Hiszen, ha le is győzzük a távolságokat, ezerszám létezhetnek lakható (vagy azzá tehető) bolygók, de ezek benépesítéséhez elképesztő mennyiségű emberre lenne szükség. Az emberek ilyenét célú mesterséges szaporításának pedig nem sok értelme van, hiszen csak annyit mondhatnánk el a hatalmas befektetett munka után, hogy mindenütt ott vagyunk. Talán más idegen civilizációk már szembesültek ezekkel a problémákkal, és úgy döntöttek, technikai eszközeiket nem a világegyetem átalakítására fordítják, hanem annak változatlan formában történő megőrzésére.

Sok tudós mégis inkább azt a feltevést támogatja, hogy a technikai civilizációk osztályokba sorolhatók. Az 1. típus reprezentáns képviselője az emberiség is, mely a saját szülőbolygóját és annak környezetét igyekszik átalakítani. Ha azonban az életét hosszú ideig (több ezer évig) biztos alapokon akarja tudni egy intelligens faj, legalább a saját csillagrendszerét be kell laknia, így válhat 2. típusúvá egy civilizáció. Az ember

technikai lehetőségeit szemlélve nem elképzelhetetlen, hogy a Naprendszer teljes betelepítése akár ezer évig is eltarthat, és nem feltétlenül jár a bolygókörnyezet számottevő átalakításával, így a létrehozott változások nem is fedezhetők fel távolról könnyedén.

A csillagközi utazások megkezdése már komolyabb mérföldkő lehet a fejlődésben. A nagy távolságokat bejáró, hatalmas energiákat felhasználó űrhajók feltűnése akár több száz fényévről is észrevehetővé válhat, de valószínű, hogy eddig ismeretlen technológiák kifejlesztésére van ahhoz szükség, hogy egy faj benépesíthesse egy egész galaxist és 3. típusú technikai civilizációvá váljék. Egy ilyen óriási energiákkal operáló faj létezését már a környező galaxisokban is észlelhetnénk. Ha pedig a Tejútrendszerben létezne ilyen, akkor már biztosan tudnánk róla.¹²

Nem elképzelhetetlen, hogy jelenleg ugyan számunkra nem elérhetők intelligens civilizációk, de a későbbiekben nyomaikra bukkanunk mindenfelé. Az így megszereshető ismeretek is rengeteg haszonnal kecsegtetnek, ezért a kapcsolatkeresés sikertelensége esetén is feltétlenül fontos lesz az élet legapróbb jeleinek felkutatása, amíg csak az emberi civilizáció létezik.

Nem szabad azonban elfelejtenünk, hogy a technikai civilizációknak más fejlődéstörténete is lehet. Ha csak a jelenkor tudományos eredményeit nézzük, a fizika, a kémia, a számítástechnika és a genetika egyesítésével olyan mesterséges biogépek tervezésébe kezdhünk hamarosan, melyek, hasonlóan az élő szervezetekhez, elindulhatnak az evolúciós fejlődés útján. Ezek a mesterséges ökoszisztémák messze túlélhetik alkotóikat, és később minden bizonnyal megjelenhetnek köztük azok az intelligens gépek, melyek számára a galaxis beutazása, benépesítése, vagy más célú hasznosítása nem lesz megoldhatatlan. Tekintettel arra, hogy egy ilyen célra tervezett, vagy önszerveződő gépi civilizáció nagyságrendekkel stabilabb képződmény lehet, mint a szerves lények alkotta társadalmak, nagyobb az esély rá, hogy az emberi civilizáció létezése alatt ilyenrel fog kapcsolatot kialakítani. Feltéve persze, hogy egy gépi civilizáció motiválva van bármilyen kapcsolatfelvételle.

Jelenleg az a legelfogadottabb nézet, hogy ha pillanatnyilag egyáltalán léteznek az emberiséggel kommunikációra képes civilizációk, akkor azok sokkal idősebbek nálunk. Ennek nyilvánvaló oka, hogy az emberiség alig 100 éve lépett csak a rádiózás korszakába. Szinte elképzelhetetlen, hogy a jelenleg műszereinkkel belátható környezetünkben egy másik intelligens faj közel ugyanitt tartson. Sokkal valószínűbb, hogy a leendő kommunikációs partnerünk lényegesen – akár millió évekkel – idősebb nálunk.

Ha helytálló az a korábbi feltételezés, hogy a gépi intelligencia fennmaradási esélyei jobbak a szerves társaiknál, akkor várhatóan az első kapcsolatot az emberiség idegen értelmes gépekkel (mesterséges lényekkel) fogja létesíteni. Egy ilyen, hatalmas tudásbéli fölényrel rendelkező civilizációval történő első tapasztalatcsereinek viszont végképp beláthatatlan következményei lehetnek az emberiségre nézve. Talán ez a magyarázata, hogy ekkora csend tapasztalható körülöttünk. Akár a mi érdekünk is lehet, hogy erkölcsi fejlettségünk jelenlegi fokán ne kerülhessünk bizonyos önmaunkra veszélyes tudás birtokába...¹³

Összefoglalás

A XX. század közepe óta rendkívül sokat lépett előre a tudomány, de annak megítélése, hogy léteznek-e fejlett, kommunikációra képes társcivilizációk, nem lett könnyebb.

Az élet kialakulásához szükséges környezet vizsgálata azt sejteti, hogy a Naprendszer, és azon belül is a Föld-Hold rendszer, egészen egyedi tulajdonságokkal bír, ami a földi típusú élet kialakulásának esélyeit más bolygórendszerekben jelentősen lecsökkenti. Ezzel szemben a biológia és evolúció törvényeinek felismerése azt mutatja, hogy szinte végtelen változatosságot és nagyfokú kreativitást várhatunk el azokon a helyeken, ahol az élet egyszer megvetette a lábát. A végtelenül kis esély és a végtelenül nagy változatosság talán megfelelően kompenzálja egymást ahhoz, hogy az egyszerűbb életformák gyakori jelenségnek számíthassanak a Tejútrendszerben, de nagyon valószínű, hogy az emberi civilizáció térben és időben jelenleg egyedül van. Így roppant nagy felelősség hárul ránk arra nézve, hogy megőrizzük-e ezt a csodát a Világegyetem számára.

Jegyzetek

- 1 SETI: Search for Extraterrestrial Intelligence, azaz a Földön kívüli értelem kutatása.
- 2 Emlékek az OZMA-tervről – Fodor L. István: Földön kívüli élet. Natura Kiadó, Budapest, 1984., 32. o.
- 3 Életövezetek – Uott. 77. o.
- 4 A katasztrófa elv – Stanislaw Lem: Az emberiség egy perce. Európa Kiadó, Budapest, 1988., 18. o.
- 5 Életövezetek - Fodor L. István: i. m. 78. o.
- 6 Szatmáry Károly: Bolygók más csillagok körül. Meteor Csillagászati Évkönyv 2003, Budapest, 204. o.
Szatmáry Károly: Exobolygó-hírek. Meteor Csillagászati Évkönyv 2005, Budapest, 167. o.
- 7 Kereszturi Á. – Simon T.: Asztrobiológia. Meteor Csillagászati Évkönyv 2005, Budapest, 190. o.
- 8 A katasztrófa elv – Stanislaw Lem: i. m. 18-30. o.
- 9 Földön kívüli mikrobák – Paul Davies: Egyedül vagyunk a világegyetemben? Kulturtrade, Budapest, 1996., 29. o.
- 10 Stuart Kauffman: Mi az élet? – John Brockman: A következő 50 év. Vince Kiadó, Budapest, 2002., 129. o.
- 11 Civilizációs robbanás – Fodor L. István: i. m. 122. o.
- 12 Csillagok és civilizációk – Uott. 128. o.
- 13 Kozmikus csend – Uott. 163-193. o.