

# A KOZMIKUS TÁRSKERESÉS ÉS EREDMÉNYEINEK KOMMUNIKÁCIÓJA

Almár Iván

## ÖSSZEFOGLALÁS

A kozmikus társkeresés lényege, hogy a Földhöz hasonló bolygót, a Földön kívül létrejött, a földtől független életet és végül tőlünk független értelmet és civilizációt keresünk a hatalmas Univerzumban. E három, részben összefüggő kutatás jelenlegi helyzetét mutatjuk be, kiegészítve a szerző javaslataival egy esetleges felfedezés bejelentésének jelentőségét egyszerű skálák segítségével, számszerűen értékelve.

## SUMMARY

A search for cosmic partners means essentially looking for Earth like exoplanets, for extraterrestrial life forms and finally for an independent intelligence and civilization somewhere in the immense Universe. The present situation of these three partly converging investigations is outlined in the paper complemented by a proposal of the author to evaluate by means of simple scales numerically the importance of the announcement of a putative discovery.

## 1. BEVEZETÉS

Noha 2010-ben már az 50. évfordulóját ünnepeltük annak, hogy Frank Drake megkezdte idegen civilizációk rádióüzeneteinek keresését (OZMA terv), vagyis elindult az első *SETI* projekt (*Search for Extraterrestrial Intelligence*), mégis az egész program viszonylag új jelenség a tudomány történetében, amely csak mostanában kezd megvalósítani helyét a kutatások rendszerében. Ebben lényeges szerepet játszik egyre szorosabb kapcsolata két másik, gyorsan fejlődő, fontos kutatási területtel, tudniillik egyrészt a más Naprendszer bolygóinak (ezeket exobolygónak nevezik) vizsgálatával, másrészt pedig az asztrobiológia korábban is létező, de egyre érdekesebbé váló ágával, a Földön kívüli élet keresésével. Véleményem szerint a szakma művelői az utóbbi évtizedben már felismerték azt a szoros kapcsolatot, amely e három szakterületet összefűzi. A média – gyakran tévesen – szintén úgy ítéli meg, hogy egy a Földhöz hasonló bolygó felfedezése egyúttal szinte garancia arra, hogy ott élet és intelligencia is kialakult, vagyis a Naprendszeren kívül felfedezett, lakható exo-

bolygó bizonyára lakott is, sőt ott érdemes értelmes társaink után is kutatni. A tájékozott közvélemény szerint ezért az exobolygó-kutatás, az idegen élet kutatása (asztrobiológia) és az idegen értelem kutatása (SETI) nemcsak összefügg, de egy fontos kutatási program három lépésője, amely elvezet kozmikus társainkhoz.

Persze ez egyáltalán nem ilyen egyszerű, hiszen semmi nem bizonyítja, hogy egy számunkra lakhatónak tűnő bolygó egyúttal lakott is. Még kevésbé tudhatjuk, hogy kialakult-e rajta egy technikai civilizáció. Annyi azonban kétségtelen, hogy e három szakterület jelentős hatással van egymásra. Ez azonban új felismerés, és más tudományterületek művelői számára még nem evidencia. Éppen ezért volt 2010-ben számomra is kellemes meglepetés, hogy a 350 éve alapított, nagy tekintélyű brit tudományos akadémia, a *Royal Society* meghívott előadókkal két nyilvános konferenciát is rendezett az egész kérdéskörrel. Az első nemzetközi „Discussion Meeting” januárban volt Londonban, a második „Satellite Meeting” október elején az új, Kavli nemzetközi konferenciaközpontban, Chicheley Hall-ban. Mindkettőn részt vettek az érintett témakörök legtekintélyesebb tudósai, több Nobel-díjas professzor, Frank Drake a SETI program elindítója, Michel Mayor az első igazi exobolygó felfedezője, Paul Davies világhírű fizikus, valamint a társadalomtudományok jeles képviselői is. A téma ugyanis nemcsak a friss kutatási eredmények bemutatása volt, hanem ugyanakkora hangsúllyal egy esetleges perdöntő felfedezés társadalmi hatása is, különös tekintettel az emberiség jövőjére. A konferenciák címe is azt fejezte ki, hogy felkészültünk-e arra a pillanatra, amikor megtudjuk, hogy nem csak a Földön van élet (illetve intelligencia) a hatalmas Univerzumban. Egy ekkora felfedezés nyilvánvalóan kommunikációs problémákat is felvetne, pontosabban azt, hogy hogyan kellene előkészíteni, bejelenteni és tárgyalni egy olyan állítást, hogy „megtaláltuk kozmikus társainkat”. A továbbiakban röviden áttekintem a három kutatási terület helyzetét, valamint a Földön kívüli élet, illetve intelligencia esetleges felfedezése esetén a bejelentés jelentőségét számszerűsítő, általam javasolt skálákat.

## 2. FÖLD-SZERŰ EXOBOLYGÓK KERESÉSE

A Naprendszer bolygói, vagyis Földünk testvérei érdekes és változatos családot alkotnak ugyan, de ha valaki az itt szerzett tapasztalatokból kívánná levezetni az Univerzumban létező bolygórendszerek tulajdonságait, minden bizonytalanságot tévedne. Márpedig alig 20 évvel ezelőtt még semmiféle más csillagászati megfigyelés nem állt rendelkezésre; a Napon kívül egyetlen más csillag egyetlen bolygóját sem ismerték. A helyzet 1995-ben gyökeresen megváltozott. Ekkor sikerült egy viszonylag közeli csillag (51 Pegasi) bolygószerű kísérőjének létét közvetett módszerrel, tudniillik gravitációs perturbáló hatása alapján bebizonyítani. Nem mintha a csillagászok korábban nem sejtették volna, hogy léteznek exobolygók, vagyis csillagok bolygószerű, hideg kísérői. Sőt 1992-ben bizonyos speciális, közvetett módszerrel egy pulzár, vagyis a csillagfejlődés egyik végállapotát jelentő neutroncsillag körül több kisméretű bolygót fedeztek fel. De mi van a Napunkhoz hasonló, fősorozati csillagok körül? Léteznek-e ott is bolygórendszerek Föld-szerű, illetve óriásbolygókkal? Egyetlen síkban, egyirányban és körpályákon keringenek-e, mint ahogy a Naprendszerben megszoktuk? Vajon a kisebb, sziklabolygók ott is közelebb keringenek-e a csillagukhoz, mint a hatalmas gáz-bolygók?

Már az első megfigyelések bebizonyították, hogy szinte semmi nem olyan az exobolygók világában, mint jól ismert Naprendszerünkben. Ahogy gyorsan (exponenciális ütemben!) sokasodtak az exobolygó-felfedezések, úgy lett egyre nyilvánvalóbb, hogy rendkívül sokféle, változatos világra bukkantunk. 2010 októberében még „csak” mintegy 500 exobolygó alkotta a tanulmányozható mintát, 2011 tavaszán egyedül a Kepler űrszonda megfigyelései alapján 1202 újonnan talált exobolygóról szóltak a hírek. S míg az 1990-es években még csak a legnagyobb exobolygók hatását sikerült észlelni, amelyek tömege többszöröse a Jupiterének, addig napjainkra az észlelési technika odáig fejlődött, hogy kedvező feltételek esetén már Föld-szerű bolygók felfedezése is lehetségessé vált. Ez azt jelenti, hogy a kezdetinél mintegy százszor kisebb tömegű bolygók hatása is kimutatható.

Mivel exobolygók felfedezése többféle módszerrel is lehetséges, és mindegyik módszernek jellegzetes előnyei és hátrányai vannak, mindegyiknek el kellene sorra őket nagyjából fontosságj sorrendben!

## 2.1 Felfedezési módszerek

### 2.1.1 Spektroszkópiai (Doppler effektus)

Már a legelső exobolygót (amely „normális” csillag körül kering) ezzel a módszerrel fedezték fel, és az első 15 évben nagyjából 90%-ban ez volt a nyerő eljárás. Tulajdonképpen a csillagászatban a közvetlenül nem látható *csillag*kísérők felfedezésére már évtizedek óta eredményesen használták. Spektroszkópiai úton folyamatosan mérni lehet egy csillag közeledési, vagy távolodási sebességét („radiális sebességét”), színkép vonalainak Doppler-eltolódása alapján. Ha a csillagnak nincs jelentős tömegű kísérője, akkor ez a radiális sebesség gyakorlatilag állandó. Ha azonban egy láthatatlan kísérő tömegvonzása a közös tömegközéppont körüli keringésre kényszeríti a csillagot, akkor radiális sebessége a kísérő keringési periódusával nyilván ingadozni fog; a színkép vonalainak oszcillálnak. Az oszcilláció periódusából a kísérő távolsága, amplitúdójából pedig tömege (pontosabban tömegének minimális értéke – lásd később) levezethető. Mint említettem, ezt a jelenséget a csillagászok használták ugyan, de a módszer pontossága legfeljebb km/s-nyi ingadozások kimutatására volt alkalmas.

A 90-es években úgy sikerült elérni a spektroszkópiai mérések pontosságának jelentős növelését, hogy egy jódgőzzel töltött abszorpciós cellát helyeztek a csillagfény útjába. Ennek hatására a jódnak ismert hullámhosszú, éles vonalai is megjelentek a színképben, amely lehetővé tette a csillagból származó abszorpciós vonalak pillanatnyi helyzetének a korábbiaknál százszor pontosabb meghatározását. (A jódvonalak segítségével tulajdonképpen kiküszöbölték az adott spektrométer szisztematikus vagy időszakos hibáit.) Amikor már sikerült elérni a 60 m/s pontosságot, megszülettek Svájcban, a genfi obszervatóriumban, majd később az Egyesült Államokban az első, exobolygó jelenlétére utaló megfigyelések.

A módszer nagy előnye, hogy mindig alkalmazható, ha a csillag elég fényes. Természetesen annál könnyebb kimutatni a színkép vonalainak oszcillációját, mennél nagyobb az amplitúdó és mennél rövidebb a periódus. Ez kedvez a nagy tömegű, a csillaghoz közel keringő kísérők felfedezésének. Nem meglepő tehát, hogy kezdetben szinte csak ilyen „forró Jupitereket” találtak – amilyenre Naprendszerünkben példa sincsen. Már ekkor kiderült, hogy a Naprendszer bolygói-nál tapasztalt szabályosságot általánosítani az exobolygók világára aligha lehet.

De egyáltalán bolygókat találtak-e a spektroszkópiai módszerrel, vagy csak kistömegű csillagokat? Itt kell hangsúlyozni a módszer egyik nagy hátrányát, tudniillik azt, hogy a gravitációs perturbáló hatás mértékéből levezetett tömegérték csak alsó korlát a kísérő tömegére. Nem szabad elfelejteni, hogy itt a *radiális sebesség* ingadozásáról van szó. Ha ugyanis a kísérő éppen az égbolt síkjában kering, akkor nyilván nincs hatása a csillag közeledési vagy távolodási sebességére, akármekkora a tömege. Pontosabb formában megfogalmazva az oszcilláció amplitúdójából levezetett tömegérték  $m \cdot \sin i$ , ahol  $i$  a kísérő pályájának az égbolt síkjával bezárt szöge. Ez a szög azonban önmagában a spektroszkópiai mérésből nem határozható meg. Ha  $i=90^\circ$  akkor a levezetett tömegérték alapján valóban eldönthető, hogy bolygóról, vagy kistömegű csillagról (úgynevezett „barna törpéről”) van-e szó az adott esetben. Minden más esetben csak alsó korlátot kapunk, így ezzel az eljárással csak statisztikai jellegű következtetés vonható le; ha a kísérő égitestek pályasíkjai random eloszlásúak, akkor nagy százalékarányban kell lennie közöttük valódi bolygóknak. De egyre több esetben sikerült a spektroszkópiát fotometriai eljárással kombinálva a pontos tömeget (és átmérőt) levezetni, és igazolni a feltevést, hogy szilárd bolygókról és nem csillagokról van szó.

Újabban egyre több az olyan eset, amikor a csillag bonyolult radiális sebesség ingadozását csak több bolygó, egy egész bolygórendszer feltételezésével lehet magyarázni. A spektroszkópiai módszer javulásával már 50-60 cm/s a pontosság határa, és ez egyre kisebb tömegű perturbáló égitestek felfedezésére vezetett. A megfigyeléseket földi óriástávcsövekkel végzik.

### 2.1.2 Fotometriai (tranzit) módszer

Ez a módszer is régóta ismert a csillagászatban, az úgynevezett „fedési kettősök” felfedezésére használják. Alapja, hogy olyankor, amikor a kísérő elvonul az észlelt csillag korongja előtt, a csillag fénye időszakosan elhalványodik. (Kettőscsillagok esetében olyankor is gyengül a fény, ha a kísérő éppen a csillag mögött tartózkodik). A jelenség a Naprendszerben is ismert, például a Vénusz vagy a Merkúr időnként elvonul a Nap korongja előtt, és ilyenkor annak fényessége igen kis mértékben csökken. Ritka jelenségről van szó, és sokáig reménytelennek tűnt, hogy exobolygók előre nem jelezhető átvonulásait (tranzitjait) földi csillagászati távcsövekkel észlelni lehet. De van a módszernek néhány

fontos előnye; a fényességmérés automatizálható, fényesebb csillagok esetében egészen kis távcsövek is használhatók. Továbbá, ha a látómezőbe sok ezer, tízezer, vagy százezer csillag esik, akkor ma már CCD-vel megoldható ezek esetleges fényváltozásainak szimultán monitorozása is. Ez már lényegesen megnöveli a siker esélyét.

Persze a folyamatos monitorozást a Földről mind a napfelkelte, mind a felhőzet megszakíthatja. Ezért ez a technika egyre inkább a Földtől távol telepített űrtávcsövekre épít. Ilyen volt elsőként a francia *CoRoT* (2006-ban) majd 2009-ben belépett a NASA *Kepler* obszervatóriuma is. Ezek valóban százezernyi csillag fényességét képesek akár hónapokig folyamatosan megfigyelni és mindössze ezredmagnitúdós, igen gyenge fényességcsökkenést is ki tudnak mutatni. Ha a halványodás egy idő múltán megismétlődik, akkor joggal feltehető, hogy a csillag kísérőjének (rendszerint bolygójának) áthaladása okozta a jelenséget.

Ebből már könnyen levezethetők a módszer előnyei és hátrányai. Nyilván fontos feltétel, hogy a bolygó pályája olyan legyen, amely a tranzitot lehetővé teszi (ha például éppen az égbolt síkjában kering, akkor sohasem fog áthaladni a csillag előtt). Elég nagy átmérőjű legyen ahhoz, hogy érzékelhető fénycsökkenést okozzon. Végül elég közel keringjen a csillaghoz, mert a megfigyelés nem tarthat évekre. A módszer természetesen a pályahajlást is szolgáltatja ( $i = 90^\circ$ ), így a spektroszkópiai eljárással kombinálva megkapjuk a bolygó tömegét, átmérőjét és így sűrűségét is.

Sőt, van ennek a módszernek egy nem várt, de az asztrobiológia szempontjából annál fontosabb alkalmazása is. Olyankor, amikor a bolygó éppen áthalad csillaga fényes korongja előtt, annak nemcsak a fényessége csökken, de a színképe is megváltozhat. Fényének egy része ugyanis áthalad a bolygó légkörén, amely abszorpciós vonalak formájában nyomot hagy a spektrumon. Ebből viszont le lehet vezetni a bolygó légkörének összetételét! Remélik, hogy előbb utóbb olyan exobolygókra bukkannak, amelyek légköre az életre jellemzőnek tartott oxigént, ózont vagy vízgőzt tartalmaz. Még a növényi klorofil színképi azonosítása is lehetséges. Mindez nagyon ígéretes lehetőség „lakott”, pontosabban esetleg étellel „fertőzött” exobolygók felfedezésére.

Végezetül említsük meg, hogy magyar csillagászok jó helyeken elhelyezett kisméretű, automatizált távcsövekkel sikeresen vesznek részt a fo-

tometriai exobolygó-vadászatban (Bakos Gáspár és csoportja, a HAT program műszereivel).

### 2.1.3 Az asztrometriai módszer

Már a 20. század első felében feltételezték, hogy egy közeli csillag sajátmozgásának tartós megfigyelése is elárulhatja, hogy a csillagnak bolygó-kísérője van, amelynek gravitációs hatása hullámvonallá torzítja a csillag mozgását az égen. Ez a spektroszkópiai módszer párja, ahol annál nagyobb a hatás, mennél közelebb esik a bolygó pályásíkja az égbolt érintő síkjához. A módszerrel eddig még egyetlen exobolygót sem sikerült felfedezni, noha a csillagpozíciók mérési hibáját az utóbbi időben nagyon lecsökkentették. Kevés az olyan közeli csillag, amelynek elég gyors a látszó mozgása az égen. Ennek ellenére *Gaia* néven olyan csillagászati holdat kívánunk pályára állítani, amely képes lesz csillagpozíciók, és ezáltal sajátmozgások tömeges mérésére.

### 2.1.4 A gravitációs mikrolencse-hatás

Ez az érdekes, az eddig említettektől eltérő jellegű módszer csak néhány exobolygó felfedezéséhez segített hozzá, de ezek különleges, igen távoli csillagok körül keringenek. Az általános relativitáselmélet egyik következménye a gravitációs lencsehatás, amelyre a csillagászok már rengeteg példát ismernek. Ha egy viszonylag közeli csillag véletlenül éppen átvonul egy távolabbi előtt, akkor gravitációs tere fókuszálja a távolabbi csillag fényét, és ezáltal időlegesen kifényesedik. A fénygörbe felszálló és leszálló ága általában szimmetrikus, de ha a közelebbi csillag körül bolygó is kering, akkor annak gravitációs fókuszáló hatása a fénygörbén mellékmaximumot hoz létre. A mellékmaximum amplitúdója a bolygó tömegére, helyzete a fénygörbén a bolygónak a csillagtól mért (pillanatnyi) távolságára enged következtetni. Szisztematikusan keresve az égen a nagy csillagsűrűségű területeken elhelyezkedő csillagok kifényesedéseit, sikerült már néhány ilyen exobolygót felfedezni; ezek az eddig felfedezett legtávolabbi exobolygók.

### 2.1.5 Direkt leképezés

Akármennyire meggyőzőek az eddig felsorolt módszerek, amelyek mind közvetett úton fedezik fel az exobolygókat, és csak különféle hatásukból vezetik le tulajdonságaikat, mindenképpen megnyugtató lenne néhány exobolygót közvetlenül is megpillantani. Erre az utóbbi időben volt már néhány példa. Tudván, hogy a kérdéses csillagnak van olyan távoli, nagy kísérője, amely

esetleg közvetlenül lefényképezhető, a világ legnagyobb távcsöveit bevetve eredményre jutottak. Főleg az infravörös tartomány ígéretes, ahol a csillag fénye legkevésbé nyomja el bolygójának fényét. Az eredmények igazolták, hogy a közvetett módszerek eredményei reálisak. (Az utolsónak említett mikrolencse hatás módszer ebből a szempontból kedvezőtlen, mert a csillagokkal sűrűn teleszórót látómezőben sokszor még az is problematikus, hogy melyik volt a kifényesedést mutató csillag a sok közül).

Itt említhető meg, hogy a csillagok bolygórendszereinek kialakulásakor minden bizonnyal először nagy porfelhő veszi körül a csillagot, ebben állnak össze fokozatosan a nagybolygók. Ilyen porkorongokat nagy számban ismerünk az égen; főleg infravörös sugárzásuk árulkodó. Néhány esetben az is látszik, hogy a porkorongban üres rések vannak. Ilyenkor feltételezhető, hogy éppen egy keletkező bolygó „seperte ki”, illetve gyűjtötte össze pályája mentén a poranyagot. Bizonyos értelemben ez is közvetett eljárás exobolygók felfedezésére, később közvetlen megfigyelésére is.

## 2.2 FONTOSABB TANULSÁGOK, ÖSSZEFÜGGÉSEK

Az exobolygó vadászat jelenlegi helyzete emlékeztet a Naprendszer űrszondás feltárásának kezdeti korszakára, az 1960-as és 1970-es években. Már sok a szenzációs megfigyelés, egyre nagyobb a lehetőség bizonyos általános következtetések levonására, de mindenki tisztában van azzal, hogy ezeket a következtetéseket egy új megfigyelés akár már holnap romba döntheti. Ugyanakkor valójában a téma az eddig talált 1700 exobolygóval eljutott odáig, hogy általános következtetések, összefüggések felvétele lehetséges, sőt kívánatos. Az alábbiakban ezek közül ismertetünk néhányat.

### 2.2.1 Elkülöníthető csoport, a „barna törpe sivatag”

Alapvető kérdés, hogy az így felfedezett kísérők valóban bolygók-e, vagy kistömegű, saját fényrel nem, vagy alig rendelkező csillagok (úgynevezett barna törpék). Jelentősen megkönnyíti az egész kutatási téma helyzetét, hogy eddig viszonylag kevés, egyértelműen a barna törpék közé sorolható égitestet sikerült felfedezni – annak ellenére, hogy ezek a bolygókéhoz képest nagyobb tömegük miatt a spektroszkópiai módszerrel könnyen megtalálhatóak. Tehát a szelekciós effektus ellenére találtak keveset. Ez azt jelenti, hogy a bolygókat létrehozó folyamat lé-

nyegesen gyakoribbnak tűnik, mint az, amelynek végeredménye egy barna törpe. Ezt a jelenséget szokták barnatörpe-sivatagnak nevezni.

### 2.2.2 A kis tömegű exobolygók a leggyakoribbak

Az exobolygó vadászat kezdeti korszakában fel-tűnő volt a csillagához nagyon közeli pályán keringő óriásbolygók – az úgynevezett „forró Jupiter-terek” – nagy száma. Többen kételkedni kezdtek abban, hogy egyáltalán előfordulnak-e normális helyzetű és kisebb méretű exobolygók. Leg-újabbban azonban kiderült, hogy a kezdeti eredmények „csaltak”, valójában nem a szuperóriás bolygók a leggyakoribbak, hanem a Földünkhöz tömegben közelebbiek. Michel Mayor kimutatta, hogy ha felrajzoljuk az eddig felfedezett, ismert tömegű exobolygók gyakoriságát tömegük függvényében, akkor két maximumot találunk: a nagyobbikat valahol a szuper-Földek körül (vagyis tömegük csak néhányszorosa bolygónkénak), a kisebbiket a hatalmas óriásbolygóknál. Ez biztató előjel abban a tekintetben, hogy a Föld-szerű bolygók mégis gyakoriak lehetnek a Naphoz hasonló, vagy annál kisebb hőmérsékletű és öregebb csillagok körül.

### 2.2.3 Az elnyúlt pályájú exobolygók

Meglepően sok az eléggé excentrikus pályán mozgó égitest az exobolygók között. Ilyeneket Naprendszerünkben nem ismerünk. A csillagukhoz közel keringő exobolygóknál természetesen gyakori a körpálya, mivel valószínűleg nem ott keletkeztek, hanem különféle perturbáló erők hatására kerültek a csillaghoz közeli pályára.

### 2.2.4 Milyen gyakoriak az exobolygók, illetve bolygórendszerek?

2010. október végén minden korábbinál átfogóbb és alaposabb megfigyelés-sorozat eredményét publikálták a különböző tömegű exobolygók előfordulási gyakoriságáról. Öt éven keresztül vizsgáltak 100 közeli, G és K színképtípusú csillagot a spektroszkópiai módszerrel, a 10 m tükörátmérőjű Keck-távcsövön keresztül. Ez idő alatt 22 csillag körül 33 exobolygót fedeztek fel. Az eredmény azt mutatta, hogy a 100 csillag közül csak 1-2-nek van Jupiter méretű kísérője, viszont legalább 6-nál Neptunusz tömegű, 12-nél szuper-Föld jellegű (3–10 földtömegű) exobolygót fedeztek fel. Vagyis a korábbi vélekedéssel ellentétben, legalábbis a 80 fényévnél közelebbi, a Naphoz hasonló csillagok környezetében a *kisebb tömegű bolygók jóval gyakoribbak*. Az eredményt a szerzők extrapolálták a még kisebb, a jelenlegi technikával még

elérhetetlen kísérő égitestekre is. Ezek szerint a Naphoz hasonló csillagok 23–25%-ának lehet olyan, a Földéhez hasonló tömegű bolygója, amely hozzá közel, néhány tized csillagászati egység távolságban kering. Az is kiderült, hogy sok csillag körül kering legalább két exobolygó, sőt találtak már hetet is egyetlen bolygórendszerben. Ezek a rendszerek azonban ritkán hasonlítanak a Naprendszerre, egyáltalán nem olyan szabályos elrendezésűek, mint a mi bolygórendszerünk a maga szeparált körpályáival. A kisebb és nagyobb bolygók eloszlása sem olyan jellegű, mint a Naprendszerben. Gyakori lehet az az eset is, amikor egy óriásbolygó valamiféle fékező vagy perturbációs hatás következtében befelé „migrál” a központi csillag felé, és útközben megzavarja bolygótársai keringését.

### 2.2.5 A nagyobb fémtartalmú csillagok közül többnek van bolygója

Sokféle összefüggést kerestek már a központi csillag tulajdonságai és felfedezett exobolygói-nak száma között, de csak keveset találtak. Egyetlen kapcsolat tűnik kétségtelennek; ha a központi csillag színképében a nehéz elemek gyakoribbak (ezt a csillagászatban *fémességnek* nevezik), akkor nagyobb eséllyel találunk bolygót körülötte. Ez az összefüggés tulajdonképpen várható volt, mert a nagy rendszámú elemekre szükség van a bolygók felépítéséhez. Érthető, hogy azon csillagok körül, amelyek még korán, a főleg hidrogénből és héliumból álló ősi felhőkből álltak össze, nincs szilárd bolygótestek létrejöttére esély. Amint a szupernóva-robbanások – vagyis a nehézelemeket belsejükben felépítő csillagok látványos pusztulása – az egész Tejútrendszert elszennyezték az „égéstermekként” létrejövő nehéz elemekkel, megindulhatott a szilárd bolygótestek felépítése is.

Végül megemlíthetjük még, hogy az óriási exobolygóknak természetesen lehetnek akár Föld-méretű holdjai is, és ha a pályájuk valahol a lakható zónában fekszik, akkor e holdak az élet kialakulása szempontjából kedvező égitestek lehetnek. Exoholdakat eddig nem sikerül felfedezni.

## 2.3 Mikor találjuk meg Földünk ikertestvéreit?

Az exobolygók világa nagyon gazdagnak és változatosnak bizonyult, és az újonnan talált exobolygók átlagos tömege egyre kisebb. Ebből következik, hogy már a közeljövőben esély van Földünkkel azonos tömegű és átmérőjű égitest-

tek, vagyis a Föld ikertestvéreinek felfedezésére. Ezek közül több keringhet valamely, Napunkhoz hasonló körü és állapotú, fősorozati törpecsillag közelében úgy, hogy a számított hőmérséklet megengedi felszínén folyékony víz létezését, amelyet jelenleg a tudomány az élet egyik *szükséges* feltételének tart. Ennek ellenére semmiféle bizonyíték nincs arra, hogy egy ilyen égitesten az élet valóban kialakul, és a földihez hasonló evolúciónak indul. Ezért a Földön kívüli élet keresése nem egyszerűen a Földhöz hasonló, és alkalmas helyen lévő exobolygókra irányul, hanem lényegesen eltérő stratégiák is szükségesek lehetnek a cél elérése érdekében.

### 3. AZ ÉLET KERESÉSE AZ UNIVERZUMBAN

Érthető, hogy minél pontosabban kellene tudnunk „*az élet mint olyan*” karakterisztikus jellemzőit ahhoz, hogy belevágjunk a Földön kívüli életformák keresésébe. És éppen ebben rejlik a probléma. Bolygót, legalább néhányat azért ismertünk már a Naprendszerben, még mielőtt az exobolygók keresése megkezdődött. Sőt, a bolygók az élőlényekhez képest tulajdonképpen igen egyszerű rendszerek, amelyek jellemzésére néhány paraméter elegendő. Kicsit előre ugorva a témában, az emberi civilizációkra – bár kétségkívül bonyolult társadalmi jelenségek – többféle minta található az emberiség történelmében. A földi élet rendkívül változatosnak *látszik* ugyan, de a biológusok kiderítették, hogy alapvetően azonos módon épül fel, és nyilvánvalóan egyetlen kiindulási pontja, őse van csak. Másfajta életet pedig nem ismerünk. Ez teszi olyan nehézé „*az élet*” definiálását, és ennek következtében a Földön kívüli élet tudományos keresését is.

#### 3.1 Kutatás a Naprendszer égitestein űrszondákkal

Történt-e komoly előrelépés a Földön túli, de a Naprendszeren belüli *élet* kutatásában az elmúlt néhány évben? Tulajdonképpen nem. Miért? Erre kétféle válasz adható: vagy azért, mert nincs mit keresni, vagy azért mert rossz helyen, rosszul megválasztott eszközökkel, rossz stratégiával kutatunk.

##### 3.1.1 A Mars: kövessük a vizet!

A Mars köztudomásúlag az a bolygó a Naprendszerben, ahol leginkább érdemes életnyomok után kutatni, vagyis amelynek legnagyobb az „*asztrobiológiai potenciálja*”. Az elmúlt évtizedben a Mars űrszondás vizsgálata igen látványos formában folytatódott, mondhatnánk kiteljese-

det; az égitest felszínét valószínűleg alaposabban ismerjük már, mint saját Földünkét. Ebben nagy szerepe volt a NASA Mars körüli pályára küldött megfigyelőeszközeinek (*Mars Global Surveyor*, *Mars Odyssey*, *Mars Reconnaissance Orbiter*), az ESA *Mars Express* műholdjának, a fantasztikus túlélőképességű amerikai robotjárműveknek (*Spirit*, *Opportunity*), illetve a Marsra simán leereszkedő és ott sikeres méréseket végző, ugyancsak amerikai *Phoenix* laboratóriumnak.

A Mars kutatása jelenleg az ott lévő víz keresésére koncentrál. Az, hogy valamikor régen, nem sokkal a nagybolygók összeállása után a Mars is „*nedves*” bolygó volt, ma már közhelynek számít. Erre először a felszínén űrfelvételekkel felfedezett, kiterjedt folyóvölgyrendszer utalt. Később az is bebizonyosodott, hogy a Mars feltűnően sima északi félgömbjének nagy részét valaha régen összefüggő víztakaró boríthatta. Az is nyilvánvalóvá vált, hogy az évszakai változásokat mutató fehér hósapka a déli sark körül nem állhat kizárólag fagyott széndioxidból, mert egy része megmarad nyáron is, amikor ott a hőmérséklet már a szárazjég fagyáspontja fölé emelkedik. Egyre inkább elfogadottá vált az a nézet, hogy a Mars felszínéről és légköréből hiányzó H<sub>2</sub>O jelentős része a talajban lehet – nemcsak kőzetekben megkötött vízként, hanem kiterjedt jégrétegeként is. De továbbra is eldöntetlen maradt két fontos kérdés: milyen mélyre kellene lehatolni a talajban ahhoz, hogy rábukkanjunk erre a jégrétegre, illetve elképzelhető-e olyan hely a Marson, ahol folyóvíz, vagy inkább sárral keveredő vizes anyag eljuthat a felszínre? Az utóbbi időben mindkét kérdésre kedvező válasz született.

A vízjég leglátványosabb felfedezését a Phoenix vizsgálatai szolgáltatták. 2008-ban történt, hogy amikor leszállóhelye közvetlen közelében „*megkaparta*” a felszínt borító porréteget, szemmel látható jégrétegre bukkant. További, nagyon érdekes és meggyőző jelenségeket is felfedeztek a Mars Reconnaissance Orbiter nagyfelbontású felvételein. Kráterek oldalfalain százával találtak rézsűkön történő lefolyásokat, vagyis vízfolyáshoz hasonló, sötét színű, viszonylag rövid, vonalszerű képződményeket, amelyek alsó végén a hordalékkúpok is látszanak. Mi folyhatott vagy folyik le ezekben? Már csak a sötét szín miatt is feltételezhető, hogy sárfolyásról lehet szó, amelyben rövid ideig víz van a felszínen. Amikor a kamerák rendszeresen visszaálltak ezen érdekes alakzatokra, kiderült, hogy nem valami ősi jelenségre bukkantak, mivel alakjuk viszonylag rövid idő alatt változik.

Tehát nemcsak volt, de időnként van is H<sub>2</sub>O a korábban csontszáraznak vélt felszínen. Ez fontos felfedezés, de Paul Davies nem véletlenül hangsúlyozza, hogy mindez közvetlenül nem a marsi élet felfedezését szolgálja. Közvetve persze igen, hiszen felderíti a környezeti viszonyokat, kiválasztja az élet kutatása számára leginkább ígéretes területeket, de jelenleg egyik űrszondában sincsenek az élet keresésére és felismerésére alkalmas műszerek. Ilyenek először és utoljára az 1970-es években, a *Viking* szondák leszálló egységeiben működtek a Marson. A Viking mérések óta évtizedek teltek el, de még ma sem teljesen világos, hogy mi volt az akkori talajminta-elemzés igazi eredménye. A bejelentés után, hogy a szondák még szerves anyagot sem találtak a Mars száraz felszínén, gyakorlatilag elfogadott nézetté vált, hogy ott nem érdemes életnyomok után kutatni. Ma néhány elkötelezett kutató türelmes és kitaró fáradozásának köszönhetően másképp látjuk a helyzetet. Miután a *Phoenix* szonda agresszív perklorát anyagot fedezett fel a talajban, nem zárható ki, sőt valószínű, hogy a melegítési folyamat során ez az anyag „irtotta ki” az eredetileg meglévő szerves anyagokat a mintákból. Ha a Vikingek által elemzett talajmintákban is volt perklorát, akkor a szervesanyag-tartalom akár 0,1% is lehetett. Napjainkban ezért újraértékelik a Viking program során a Mars egymástól távoli két vidékén vett talajmintákkal kapcsolatos mérési eredményeket, hátha kiderül, hogy mégis van köztük pozitív, a marsi élet jelenlétére utaló bizonyíték.

Ezek alapján talán érthető az említett ellentmondás, hogy egyrészt a Mars kutatása ugyan nagy erővel folytatódik, ugyanakkor a fő cél, vagyis a földtől független élet keresése a Marson, a Vikingek óta látszólag háttérbe szorult. A következő leszálló egység, a *Mars Science Laboratory* azonban már tudatosan keres majd életnyomokat a vörös bolygón.

Asztrobiológiai szempontból fontos lehet még az az eredmény, hogy a Mars légkörében metánt találtak, amiből akár vulkanizmusra, akár felszíni életre is következtetni lehet. Viszont negatívum, hogy a Marsnak mérhető mágneses tere nincs, és lemeztekonikára utaló jeleket sem fedeztek fel.

### 3.1.2 Lehet-e élet az óriásbolygók holdjain?

Az *Europa* a Jupiter legkisebb Galilei-holdja, amely már az első, a *Voyager* szondák által harminc évvel ezelőtt készített közelfelvételken rendkívül érdekes képet mutatott. Gyakorlatilag

hiányoznak róla a kráterek (vagyis a felszín fiatal), viszont tele van repedésekkel, jégtáblaszerű alakzatokkal, káosz-területekkel. Mindez elűt testvérei, az Io, a Ganymedes és a Callisto felszínétől. A többi nagy holdéval ellentétben az *Europa* felszíne tökéletesen sima, minden bizonnyal friss jéggel borított óceánt látunk. Az óceán teljes egészében azért nem fagyott be, mert az az árapályfűtés, amely a Jupiterhez közeli Io hold kénvulkánkitöréseit okozza, még az *Europa* távolságában is jelentős tényező.

A korábbi feltevés a Galileo űrszonda mérései alapján a 90-es években bebizonyosodott. Legalább 100 km vastag vízóceán burkolja ezt a holdat, amelynek mi a jégtakaróját látjuk. Az óceán mozgása okozza a jégtakaró jellegzetes rianáisait, tábláit és egyéb jelenségeit. Asztrobiológiai szempontból az Európával kapcsolatban az a fő kérdés, hogy van-e ott elég szerves anyag. Ha helyszíni vizsgálatokat lehetne ott végezni, akkor olyan molekulákat kellene keresni, amelyek tudomásunk szerint a földi életre jellemzőek. Ha viszont az Európán az élet a földtől eltérő jellegű, akkor annak biokémiája is valószínűleg alapvetően más.

Sokáig úgy tűnt, hogy az *Europa* óceánja annyira ígéretes helyszín a Naprendszeren belül életet kutató űrszondák számára, hogy talán belátható időn belül sikerül kifejezetten erre a célra szolgáló eszközt készíteni, és az Európára eljuttatni. A feladat természetesen nehéz, nemcsak azért mert a szondának át kellene hatolnia az ismeretlen vastagságú jégkérgen, hanem a közeli Jupiter rendkívül erős, a műszereket tönkretévő részecskesugárzása miatt is. Kockázata miatt jelenleg az *Europa* kutatását szolgáló szonda készítése még nincs napirenden.

A Szaturnusz bolygó alig 500 km-es holdjának, az *Enceladus*nak a különlegességét a Cassini szonda fedezte fel már az elmúlt évtizedben. A déli pólus környékén nincs egyetlen becsapódásos kráter sem, viszont olyan repedés-sor található (jellegzetes alakja miatt „tigriskarmolásoknak” nevezik), amelyek mentén melegebb és sötétebb a felszín. Ez arra utal, hogy a repedések mentén víz spriccel ki a mélyből, és hoz fel más összetételű anyagot. Később a Cassini szonda felvételein meg is találták az aktív gejzírekből származó kilövelléseket, amelyek a gyenge gravitáció miatt több száz kilométer magasságig jutnak fel! A kilövellések összetételét szinképi úton sikerült meghatározni, és bebizonyosodott, hogy 91%-ban valóban víz alkotja.

Az *Enceladus* viszonylag új, meglepő jelölt a Naprendszer „élet-gyanús” égitestjeinek listáján.

Nagy távolsága miatt egy oda küldendő életkutató expedíció ugyan jelenleg nincs napirenden, de az Európával összehasonlítva határozottan előnyös, hogy ott a víz feljut a felszínre, továbbá, hogy a Szaturnusz magnetoszférája sokkal gyengébb a Jupiterénél, ezért ott a sugárveszély is kisebb.

A Szaturnusz óriási holdja, a *Titán* egyáltalán nem olyan, mint amilyennek az asztrobiológia a „lakható bolygókat” elképzeleli, sőt a Titán annyira messze esik a „lakható zónától”, amennyire csak lehet. Felszínén a hőmérséklet  $-179\text{ }^{\circ}\text{C}$ , amely azt jelenti, hogy a víz ott inkább kemény jégszikkla, mint a Földön a gránit. Légköre van ugyan, sőt annak a nitrogén az egyik fő alkotóeleme – akárcsak a földi atmoszférának. De a *Cassini* szonda megfigyelései és az európai *Huygens* sikeres leereszkedése óta tudjuk, hogy ez a világ idegen ugyan, de bizonyos szempontból jobban hasonlít a földre, mint bármely más égitest a Naprendszerben. Ugyanis csak a Földön ismert jelenség a víz körforgása a tengerek, tavak, folyók, illetve a légkör között, Hasonló folyadékkörforgást fedeztek fel a Titánon is, de ott két szerves anyag, a metán és az etán helyettesíti a vizet. Metán- és etánfolyók és tavak vannak a felszínén, ezek párolgása felhőket eredményez, amelyekből szénhidrogén csapadék hull a talajra, amely folyókon keresztül jut vissza a tavakba. Ha valahol, akkor ott van remény a földitől különböző élet felfedezésére a Naprendszerben. A Titán jelenleg olyan fázisban lehet, mint amilyenben az ősi Föld volt az élethez vezető folyamatok (prebiotikus evolúció) során.

Lehet-e az élet szempontjából annyira fontos vízet folyékony szénhidrogénekkal helyettesíteni? Erre az alapvető kérdésre még nincs válasz, de bár maga a metán és etán biológiailag érdektelen, de a széntartalmú, azaz szerves molekulák fantasztikusan bonyolult felépítést tudnak létrehozni, és ezek az élet alapjai. Vajon a Titánon a szénhidrogén-kémia átlépte-e az élet felé vezető határt? Nem tudjuk, de annyi biztos, hogy ha igen, akkor az eredmény nagyon eltér a földitől. Ha a felszín alatt tényleg van egy folyadéköceán (ahogy más óriási holdaknál is feltételezik, főleg mágneses mérések alapján), akkor a Titánon azt főképp ammónia alkothatja, és a kéreg az óceán fölött legalább 10 km vastag. Mivel a metán a légkörben tartósan nem maradhat fenn, a Titán esetében (akárcsak a Marsnál) feltételezik, hogy létezik valahol a felszínen egy metánt termelő forrás.

### 3.1.3 Kutatás idegen élet után a Földön

Már 1996-ban komoly formában felmerült, hogy bizonyos, a Marsról érkező, de a Földön talált meteoritokban nemcsak szerves anyag, de foszszilis életformák is találhatóak. A NASA akkori bejelentését sok szakember kétségbe vonta, de a vita még nincs lezárva; erős érvek szólnak egy abiotikus magyarázat ellen. Míg eleinte kétségbe vonták, hogy a meteoritban talált parányi kövületekhez tartozhattak igen kis méretű, marsi „nanobaktériumok”, azóta igazolódni látszik, hogy nanobaktériumok a Földön is léteznek. A földi kutatások újabban az „árnyék bioszféra” létére is kiterjednek. Paul Davies és mások feltételezik, hogy az általunk még kevéssé ismert mikroba-világban létezhetnek igen furcsa, az eddig ismert és közös eredetűnek tartott életformáktól gyökeresen eltérő élőlények is, amelyek egy „második teremtés” túlélőiként élnek közöttünk. A kutatások folynak, de eddig még csak vitatható, nem meggyőző eredmények születtek.

### 3.1.4 Következtetések

Az utóbbi években sokat megtudtunk a Naprendszerben az élet szempontjából potenciális lehetőséget biztosító égitestekről, de kézzelfogható bizonyítékok nincsenek. Vitathatatlan, hogy arra a fontos kérdésre, hogy létezik-e a földitől független, idegen élet valahol a Naprendszerben, csak kísérleti úton lehet választ kapni, például gyanús minták elhozatalával és laboratóriumi elemzésével. Hangsúlyozni kell, hogy nem tudjuk melyek az élet kialakulásának *elégleges* feltételei.

## 3.2 Van-e élet az exobolygókon?

Erről ma még természetesen keveset tudunk, de ezen a területen a kutatások nagy erővel, a világ legnagyobb távcsöveinek felhasználásával már elkezdődtek. Mint említettem, bizonyos feltételek mellett a csillaga előtt elvonuló exobolygó légkörének színképe elkülöníthető a csillagától, vagyis a bolygó légkörének kémiai elemzése megvalósítható. A közvetlenül lefényképezhető exobolygók esetében is használható a színképelemzés igen hatékony eszköze. Ha életre utaló „biomarkereket” fedeznének fel ezekben a színképekben, akkor arra nagy bizonyossággal következtetni lehetne, hogy az ottani élet vajon teljesen független-e a földitől. Azt azonban sajnos még nem tudjuk megállapítani, hogy egyes molekulák (például oxigén, ózon, metán) jelenléte egy bolygó színképében valóban csak bioló-



giai eredettel magyarázható-e, vagy létrejöhet abiogén módon is.

### 3.3 A Földön kívüli élet felfedezésének bejelentése, a bejelentés kommunikációja

A Földön kívüli élet felfedezésére nagyvonalú, költséges kutatások folynak mind a Naprendszerben, mind azon kívül, és bár az eredményt semmi sem biztosíthatja, valószínű, hogy továbbra is lesznek fontos bejelentések, amelyekről hosszas vita kezdődik majd. A téma jellege olyan, hogy a média és a nagyközönség folyamatos érdeklődése biztosított, és egy esetleges megerősített eredménynek tudományos és társadalmi következményei egyaránt lennének. Erről a témáról rendezett a Royal Society kétnapos vitát 2010. január végén, ahol „London-skála” néven bemutattam javaslatomat egy-egy ilyen bejelentés jelentőségének számszerű értékelésére. [1]

#### 3.3.1 A London-skála

A 0-tól 10-ig terjedő skála értékeit több tényező kombinációja adja. Az alábbi (kissé leegyszerűsített) táblázat (1. ábra) segítségével meghatározható négy érték, amelyek rendre a felfedezett életforma, a bizonyítékok, és a felfedezés jellegét, illetve a jelenség távolságát jellemzik. E négy szám összege a Q faktor. A London-skála index értékét úgy kapjuk, hogy ezt megszorozzuk a bejelentés hitelességét (némi képp szubjektív módon) jellemző  $\delta$  faktorial:  $LSI = Q \times \delta$ . A skála használható a társadalmi, tudományos, világnézeti hatások előzetes vizsgálatánál is, még mielőtt egy ilyen bejelentésre sor kerülne. A skálát szakértői csoportok alkalmaznák a médiával való kommunikációban, a közvélemény tájékoztatására. Véleményem szerint alkalmazására már a viszonylag nem távoli időben szükség lehet.

**A London-skála mutató értékei és megbízhatósági tényezői**

ÉLET-FORMA érték	BIZONYÍTÉK érték	FELFEDEZÉS érték	TÁVOLSÁG érték	MEGBÍZHAT. TÉNYEZŐ ( $\delta$ )
5 Teljesen idegen	6 Komplex élet	5 Visszahozott anyagminta elemzése	4 Nulla távolság (Föld)	0.5 Biztos / Nagyon megbízható
4 Nem földi / bizonytalan	5 Egyszerű élet	4 A Földön vagy a légkörben talált	3 A Jupiter pályáján belül	0.4 Valószínűleg igaz
3 A földi élet eddig ismeretlen változata	4 Kipusztult élet / felfüggesztett életfunkciók	3 Helyszíni emberes küldetés	2 A Jupiter távolságában vagy azon túl, de a Naprendszeren belül	0.3 Tévesztelhető, további bizonyíték szükséges
2 Földi / bizonytalan	3 Bizonytalan, hogy élő vagy sem	2 Helyszíni felszíni automata	1 Túl a Naprendszeren	0.2 Vitatott, de nem utasítható el
1 Lehetséges, de csak közvetett bizonyítékok	2 Ösmeradvány	1 Távérzékelés		0.1 Valószínűleg nem valós
	1 Biomarkerek (közvetett bizonyíték)			0 Hamis vagy szándékos becsapás

Iván Almár and Margaret S. Race: Discovery of Extraterrestrial Life: Assessment by Scales of Its Importance and Associated Risks

**1. ábra**  
A London-skála

#### 4. INTELLIGENCIA ÉS TECHNIKAI CIVILIZÁCIÓ KERESÉSE AZ UNIVERZUMBAN

Bár neve szerint a SETI célja a Földön kívüli *értelem* keresése, valójában a kutatás fejlett *technikai civilizációk* nyomai, jelei vagy üzenetei után folyik.

##### 4.1 A hagyományos SETI

A modern SETI története 1959-ben kezdődött, amikor megjelent Philip Morrison és Giuseppe Cocconi közös cikke a *Nature*-ben *Searching for Interstellar Communications* (csillagközi kommunikáció keresése) címmel. Ebben nemcsak felvetették, hogy a földi példából kiindulva érdemes lenne hasonlóan fejlett vagy nálunk fejlettebb technikai civilizációk rádióhullámú jeleit keresni az égen, hanem jól átgondolt és érvekkel alátámasztott kutatási stratégiát is javasoltak. Előkerült, mint jelentőséggel bíró vonatkoztatási pont a hidrogén 1951-ben felfedezett erős színképvonala a 21 cm hullámhosszon, és az a gondolat is, hogy legcélszerűbb lenne ennek környékén mesterséges eredetű sugárzást keresni.

A USA Nemzeti Rádiócsillagászati Obszervatóriumának 25 m-es rádiótávcsöve is 1959-ben készült el Green Bankben. Egy éppen csak diplomázott fiatal csillagász, Frank Drake kiszámította, hogy az akkori legerősebb földi radarok sugárzása milyen távolságból lenne észlelhető vele; eredményül 10 fényévet kapott. Engedélyt kért az igazgatótól, hogy egy keskenysávú vevővel megvizsgálják néhány közeli csillag rádiósugárzását a hidrogén 21 cm-es színképvonalának közelében, hátha mesterséges eredetű sugárzásra bukkannak. Miután megkapta az engedélyt 1960. április 8.-án egy korszerű parametrikus erősítővel két közeli, Nap-típusú csillagra ( $\tau$ -Ceti és  $\epsilon$ -Eridani) irányította az antennát, és rögzítette a sugárzás erősségét. Ez volt az OZMA projekt és egyben az egész „klasszikus” mikrohullámú SETI program kezdete. Ezt a programot – természetesen tökéletesített formában és eszközökkel – a következő évtizedekben mintegy száz hasonló (bár általában rövid ideig tartó) kísérlet követte szerte a világon, de főleg az USA-ban és a Szovjetunióban. A programok szinte kivétel nélkül állami támogatás nélkül működtek, és egyik sem hozott igazi eredményt. (Részletesebben lásd [2]-ben.)

A hagyományos SETI programok célja olyan keskenysávú, lehetőleg tartósan ismétlődő jelek kiszűrése a mikrohullámú alapszóból, amelyeket a természet tudomásunk szerint nem produkál. A rádiótávcsövet vagy ígéretes, Nap-típusú,

esetleg bolygókkal rendelkező csillagok felé irányítják, vagy módszeresen haladva letapogatják az egész égboltot. A *SERENDIP* nevű SETI program esetében a sokcsatornás analizátort csak ráakasztják a rádiócsillagászati programot végző távcsőre, és találmásra vizsgálják az égbolt rádiósugárzását. E program során nyert rengeteg adat feldolgozására használták és használják a SETI@home program keretében az egész világról hálózatszerűen összekapcsolódó személyi számítógépek milliőit.

A klasszikus rádiócsillagászati SETI jelenlegi fő célja az *ATA*, vagyis *Allen Telescope Array*. Az ATA Észak-Kaliforniában, a Hat Creek Obszervatóriumban épül már 2005 óta. Végző állapotában a tervek szerint 350, egyenként alig 6,1 m átmérőjű rádiótávcső alkotja majd, amelyek közül 10–10 antennát kapcsolnak össze 32 sugárnyalábbá. Az antennák összfelülete eléri majd a tízezer négyzetmétert. Több mint 1 milliárd csatornát fognak monitorozni 0,5 és 11 GHz között (a korábbi megfigyelések csak az 1 és 3 GHz közötti sávra korlátozódtak). Az ATA első, kísérleti konfigurációjának felavatására 2007. október 11-én került sor 42 antennával. Az ATA-42 rendszer egy bonyolult rádió-interferométer, ahol a felbontás nem egy-egy antenna átmérőjétől, hanem a leghosszabb alapvonalszakasztól függ. Az egymástól legtávolabbi két antenna távolsága jelenleg már 300 m, a végző kiépítésben 900 m lesz. Az első, kísérleti felmérés a 42 távcsővel 155 exobolygó-rendszerre irányult. Ez mintegy 150 órányi megfigyelést jelentett, amelyet rendszeresen megismételnek majd a következő öt évben. Fontosnak tartom annak hangsúlyozását, hogy az ATA csak egyes kiválogatott SETI célpontok megfigyelésére alkalmas, az egész égbolt folyamatos figyelésére nem.

Ma már ugyancsak klasszikus programnak tekinthető az *optikai SETI* is. Tulajdonképpen a SETI kutatás az optikai tartományban már 1961-ben felvetődött. A korai időszakban sok kutató azonban elvetette az optikai SETI-t, mert azt hitte, hogy az adóhoz közeli csillag sugárzása kiküszöbölhetetlen zajforrás lesz. Nem értékelték, hogy ha egy rövid impulzusokkal működő lézert használnak folyamatos helyett, akkor könnyen lehetséges túlsugározni az „anyacsillagot” az alatt, amíg az impulzus tart. Egy rövid impulzusú lézerral az a helyzet, hogy a vevőnél mind a színképi, mind az időbeli elkülönítés egyszerűen végrehajtható, a lézer ugyanis igen keskeny, a csillag viszont széles színképtartományban sugároz. Valószínűbb, hogy jeleket találunk az optikai színképtartományban, mint a mikrohullámúban. Optikai tartományban egyszerűbb a zaj-

háttérrel kezelni. Az optikai SETI számára az egyetlen jelentős földi interferencia-forrás a vilámlás, amely ritkán lép fel, és ezért veszélytelen. A mai, korszerű impulzuslézerek – rövid időszakokra – igen nagy csúcsteljesítménnyel működtethetők.

Optikai SETI észlelések eddig a Szovjetunióban, az USA-ba, Argentínában és Ausztráliában folytak, néha meglepően kisméretű, bár érzékeny és automatizált optikai távcsövekkel. Amerikában *Columbus Optical SETI Observatory* néven 1990-ben Stuart Kingsley mérnök hozta létre az első, folyamatosan észlelő optikai SETI állomást. Ez egy mindössze 25 cm-es távcsővel, amatőr alapon működött, és nanoszekundumos felvillanásokat keresett. Azóta néhány nagyobb csillagvizsgáló, köztük a Harvard is bekapcsolódott a viszonylag kis beruházást igénylő, de ígéretes optikai SETI megfigyelési programba.

#### 4.2 Új SETI ötletek és javaslatok

Talán elsősorban a SETI eddigi, fél évszázados sikertelenségének tulajdonítható, hogy mostanában jelentősen felerősödtek azok a vélemények, amelyek kétségbe vonják a hagyományos SETI alapelveit is. Sok támadás éri például az 1961. óta létező, és szinte mindenütt felbukkanó Drake-formulát is, amely a Tejútrendszerben velünk egyidejűleg létező és kapcsolatot kereső civilizációk számát több tényező szorzataként állítja elő. E tényezők részben csillagászatiak (az alkalmas csillagok, bolygórendszerek és „lakható” bolygók számaránya), részben biológiai (hányon lehet közülük élet, illetve intelligencia), részben társadalmiak (milyen arányban jöhet létre technikai civilizáció és az milyen hosszú életű). A biológiai és társadalmi tényezők értékéről nyilván kevés fogalmunk lehet, ezért az eredmény is teljesen bizonytalan. Újabban az sem számít már vitathatatlannak állításnak, hogy társainkat okvetlenül a földihez hasonló környezetben, vagyis lakható bolygókon kell keresnünk.

De sűrűn születnek javaslatok új megfigyelési vagy keresési programokra is: például keressük nyomaikat a Naprendszer évmilliárdok óta változatlan felszínein, olyan helyeken is, ahová eszünk eddig nem jutottak el. De az exobolygók tömeges felfedezése óta konkrét lehetőséggé vált „technomarkerek”, vagyis idegen technikai civilizációk környezet átalakító hatásainak keresése a csillagok és exobolygók világában. Ez sem új gondolat, de tényleges keresési programok még nem indultak. Paul Davies további mérész ötleteket is felsorol legújabb, magyarul is

olvasható könyvében [3]: keressünk idegen űrszondákat a Naprendszer viszonylag stabil Lagrange-pontjaiban, vagy különleges, fizikailag nehezen értelmezhető jelenségeket az égen – esetleg bizonyos jelenségek, vagy égitest-típusok hiányát stb.

#### 4.3 Üzenjünk-e nekik? (A METI program)

Semmi új nincs magában a gondolatban: már maga Gauss is tett javaslatot arra, hogy a Pithagorasz-tételt bizonyító ábra formájában ültetett erdővel üzenjünk az idegen civilizációknak, hogy értelemmel bíró fajként értjük a matematikát. A Naprendszerünket elhagyó űrszondákra erősített üzenetek is valami ilyesféle célt szolgáltak. De korábban a SETI programon belül általánosan elfogadott nézet volt, hogy nekünk, mint nagyon fiatal technikai civilizációnak csak az a dolgunk, hogy hallgatódzunk, és bízunk az érthető üzenetek küldésének nehezebb feladatát a nálunk bizonyára technikailag fejlettebb, idegen civilizációkra.

1999. óta a helyzet gyökeresen megváltozott. Az egyik legnagyobb, irányítható rádiótávcső, a jevpatoriai segítségével orosz rádiócsillagászok Alekszander Zajcev vezetésével, több alkalommal küldtek (részben üzleti alapon álló) üzeneteket kiválasztott csillagok felé. A program a *METI (Messaging Extraterrestrial Intelligence)* elnevezést kapta, és támogatói azzal érvelnek, hogy „ha mindenki hallgat, akkor sohasem lesz kommunikáció”. Más szakemberek viszont arra hívták fel a figyelmet, hogy egy ilyen intenzív üzenetküldés felhívhatja a figyelmet Földünkre, holott senki sem garantálhatja, hogy ez nem jár valamiféle veszéllyel. Ezért az ilyen programok esetében előzetes nemzetközi konzultációt, megegyezést tartanak szükségesnek. A vita intenzíven folyik, a Royal Society 2010. októberében nyílt szakmai vitát rendezett, meghívott előadókkal, erről a kérésről. A témáról részletebben [4]-ben írtunk.

#### 4.4 A Földön kívüli civilizáció jeleinek (nyomainak) felfedezése, és annak kommunikációja

##### 4.4.1 A Rio-skála

A Rio-skála a London-skálához hasonló eszköz egy SETI felfedezés bejelentése fontosságának értékelésére. Ezt a skálát 2000-ben egy Rio de Janeiroban rendezett SETI szimpóziumon Jill Tarter amerikai SETI kutatóval közösen mutattuk be [5]. Az alábbi (kissé leegyszerűsített) táblázat (2. ábra) segítségével meghatározható há-

rom érték, amelyek rendre a felfedezett jelenség természetét, a felfedezés módját, továbbá a jelenség távolságát jellemzik. E három szám összege a Q faktor. A Rio-skála értéket úgy kapjuk, hogy Q-t megszorozzuk a bejelentés megbízhatóságát jellemző (meglehetősen szubjektíven értékelt)  $\delta$  faktoral:  $RSI = Q \times \delta$ . A skálát időközben a Nemzetközi Asztronautikai Akadé-

mia SETI Bizottsága elfogadta. A bejelentések elbírálására illetékes „A felfedezés utáni teendők albizottsága” ugyancsak ajánlja használatát. Célja a közvélemény lehetőleg objektív tájékoztatása a médián keresztül, valahányszor egy bejelentő azzal az igénnyel lép fel, hogy sikerült felfedeznie egy idegen, Földön kívüli civilizáció nyomait, vagy üzenetét.

### A Rio-skála mutató értékei és megbízhatósági tényezői

JELENSÉG érték	FELFEDEZÉS érték	TÁVOLSÁG érték	MEGB. TÉNYEZŐ ( $\delta$ )
6 Föld-specifikus üzenet / fizikai találkozás	5 SETI/SETA eredmény – állandó	4 A Naprendszeren belül	4/6 Teljesen megbízható, kétség nem merül fel
5 Mindenirányú üzenet / működő ET tárgy	4 Más típusú megfigyelés – állandó	3 Az emberi élettartammal összemérhető kommunikációs távolságra	3/6 Nagyon valószínű, az igazolása már megtörtént
4 Föld-specifikus jeladó vagy ET tárgy, meghatározott üzenettel	3 SETI/SETA eredmény – tranzienst	2 A Galaxisunkon belül	2/6 Valószínű, de még igazolni kell, mielőtt elfogadnánk
3 Mindenirányú jeladó vagy ET tárgy általános üzenettel	2 Más típusú megfigyelés – tranzienst	1 Extragalaktikus	1/6 Nagyon bizonytalan de megéri az igazolás vesződését
2 Kiszivárgott sugárzás / megérthető ET tárgy	1 Archiv adatok újraértékeléséből származó		0 Egyértelműen hamis vagy becsapás

2. ábra  
A Rio-skála

## 5. KONKLÚZIÓK

Összefoglalva a kozmikus társkeresés három területének jelenlegi helyzetét

1. A Föld-szerű bolygók keresése, mint csillagászati és űrszillagászati program nagy lendülettel folyik, és immár nemcsak százával, de ezrével kezdenek különféle exobolygókat felfedezni. Ezek között még nem sikerült Földünk ikertestvérét megtalálni, de a kilátások e tekintetben biztatóak.

2. Az élet keresése a Földön kívül elsősorban szintén űreszközökkel folyik. Ígéretes kutatások folynak a Mars felszínén, de a külső Naprendszer egyes holdjai is fontos célpontok lehetnek. Várható, hogy a színképelemzés módszereivel exobolygókon is megkezdődik az élet utáni kutatás. Jelenlegi tudásunk szerint bár az élet a Földön sokféle, változatos formában van jelen, de egyetlen közös keletkezésre, közös ősrre vezethető vissza. Idegen eredetű életformák felfede-

zése állami támogatást élvező, fontos asztrobiológiai kutatási program.

3. A Földön az értelem ugyan hosszú ideje jelen van, de kozmikus kapcsolatokra alkalmas, technikai civilizáció csak nemrég jelent meg bolygónkon. Idegen technikai civilizációk nyomaira a fél évszázados SETI kutatások során még nem sikerült rábukkanni. Viszont kétségtelen, hogy egy ilyen, kommunikatív technikai civilizáció jelenlétét jelenlegi eszközeinkkel nagyobb távolságokból is ki lehetne mutatni.

#### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Iván Almár and Margaret Race: Discovery of extra-terrestrial life: assessment by scales of its importance and associated risks. *Phil.Trans. R. Soc.* **A 369** 679-692 (2011)
- [2] Almár Iván: A SETI szépsége. Vince Kiadó, Budapest, 1999
- [3] Davies, Paul: A kísérteties csönd. Akkord Kiadó, Budapest, 2010
- [4] Almár Iván – Galántai Zoltán: Ha jövő, akkor világűr. Typotex Kiadó, Budapest, 2007
- [5] Iván Almár and Jill Tarter: The discovery of ETI as a high-consequence, low probability event. *Acta Astronautica* **68**, 358-361 (2011)