

# LÉTEZNEK-E A NAPRENDSZERRE HASONLÍTÓ BOLYGÓRENDSZEREK?

Szatmáry Károly, Mészáros Richárd  
SZTE Kísérleti Fizikai Tanszék

A felfedezett exobolygók asztrobiológiai potenciáljának vizsgálatára 2011-ben bevezették a Föld-hasonlósági indexet [1, 2]. Ennek mintájára vezettük be a Naprendszer-hasonlósági index fogalmát [3]. Ismertetjük kiszámításának módját, és alkalmazzuk a legalább 4 bolygót tartalmazó exobolygórendszerekre. A kapott eredményekből következtetünk arra, hogy a Naprendszer egyedinek számít, vagy hasonlít-e az ismert bolygórendszerek számottevő részéhez.

## Az exobolygók felfedezési módszerei

Az exobolygók kimutatására számos módszert dolgoztak ki, amelyeket két fő csoportba sorolhatunk. Közvetlenül, direkt módon nagyon nehéz kimutatni a halvány bolygót a sok-sok nagyságrenddel fényesebb csillaga mellett. Az esetek döntő többségében a közvetett módszerek jártak sikerrel, amikor a bolygónak a csillagára gyakorolt hatását lehetett megfigyelni.

A két legsikeresebb a fedési és a radiális sebesség-módszer, az eddig felfedezett bolygók 76,1, illetve 19,3 százalékát detektálták velük a NASA Exoplanet Archive adatbázisa szerint [4].

### Közvetlen módszerek

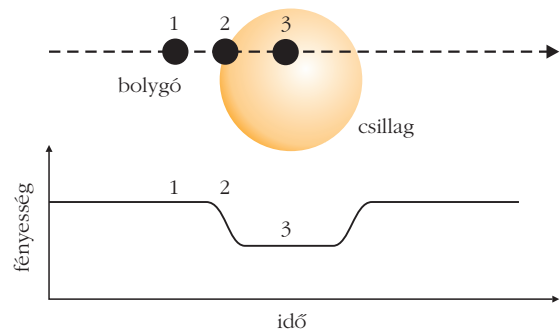
**Képpalkotás koronográffal:** ebben az esetben az észlelés során a bolygóinál sokkal fényesebb csillagot kitakarják a távcsőben.

**Infravörös többletsugárzás:** a bolygó hőmérsékleti sugárzása hozzáadódik a csillagéhoz.

### Közvetett módszerek

#### Fedési módszer

Ha egy égitest (például bolygó, barna törpe) elhalad a csillaga előtt, akkor a csillag fényességében csökkenés észlelhető. Akkor lehet szó kísérő által okozott elhalványodásról, ha a jelenség periodikusan



1. ábra. A csillag fényességsökkenése, amikor bolygója elhalad előtte [5].

ismétlődik (1. ábra). A fényességsökkenés függ a bolygó és a csillag sugarának arányától, valamint a csillag hőmérsékletétől, vagyis adott méretarány esetén minél hidegebb a csillag, annál kisebb az intenzitás csökkenése. A fedési fénygörbe fotometriai vizsgálatából sok mindenre választ kaphatunk: a keringési periódusára, excentricitására, illetve a bolygó sugarának nagyságára.

Átvonulás során az égitest légköre által produkált úgynevezett kompozit spektrum is tanulmányozható, mivel a bolygó légkörének spektruma ráakadik a csillagéra, és – a bolygó színekvonalainak Dopplereltolódásából adódóan – azokat szét lehet választani egymástól. E módszer fontosságát az adja, hogy ilyen módszerrel a bolygó színeképe, ezáltal kémiai összetétele is tanulmányozható, ami – kellő érzékenységgű műszerrel – elméletileg lehetővé teszi az életre utaló felszínén.

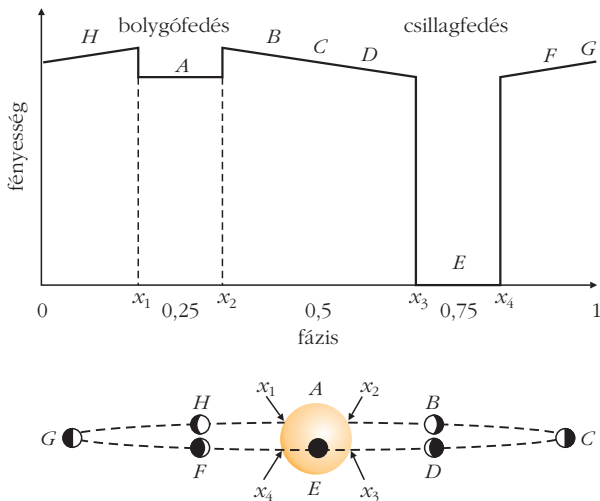
A fedési módszer az infravörös tartományban is működik, de „fordítva” (2. ábra): az exobolygók a központi csillagukhoz képest infravörösben kevésbé halványak (alacsonyabb felszíni hőmérsékletük miatt elektromágneses sugárzásuk csúcsa esik az infravörös tartományba), emiatt központi csillaguk mögött eltűnve észrevehetően lecsökken a rendszer infravörös összszugárzása.



Szatmáry Károly 1981-ben végzett az ELTE csillagász és matematika-fizika tanár szakán. Azóta a Szegedi Tudományegyetem Kísérleti Fizikai Tanszékén dolgozik. Az MTA doktora, egyetemi tanár. Kutatási területe pulzáló változócsillagok idősor-analízise. Részt vett a Kepler-űrtávcső adatainak elemzésében. Az exobolygók körül keringő holdak felfedezési lehetőségeit vizsgáló publikációk társszerzője. A Szegedi Csillagvizsgáló és a csillagász MSc szak alapítója.



Mészáros Richárd a Szegedi Tudományegyetemen elvégezte a fizika BSc szakot. A csillagászat iránti érdeklődése miatt szakdolgozata témájául az exobolygókat választotta.



2. ábra. Teljes periódus: bolygófedéskor is csökken a fényesség [6]!

### Radiális sebesség mérése

A bolygó és a csillag a rendszer közös tömegközéppontja körül kering, ezért a csillag látóirányú sebessége változik (3. ábra), így a Doppler-effektusnak megfelelően a színképvonalak hullámhossza periodikusan – közeledéskor a kék, távolodáskor a vörös irányba – eltolódik. A módszerrel a bolygó minimális tömege becsülhető.

### Asztrometria

A bolygó gravitációs hatása hullámként rakódik rá a csillag sajátmozgására. Ez az elmozdulás mérhető a háttércsillagokhoz képest.

### Gravitációmikrolencse-hatás

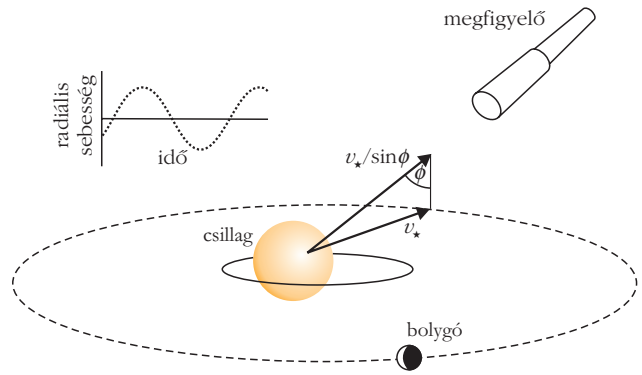
A bolygó és a csillag kettős gravitációs mikrolencseként viselkedik, amikor a rendszer egy harmadik, távoli csillag előtt elhalad, felfényesedést lehet észlelni, amelyet a központi csillag okoz, ennek fénygörbéjére rakódik rá a bolygó által okozott, rövidebb ideig tartó felfényesedés (4. ábra). A módszerrel nagy távolságból is ki lehet mutatni a csillagok kísérőit, és sok olyan paraméter is mérhető, amelyik más módszerekkel nem vagy csak nehezen állapítható meg. Komoly hátrány viszont, hogy a jelenség egyszeri, nem ismétlődő.

### Timing-effektus

Ennek alapelve, hogy egy pontosan ismert, rendszeresen ismétlődő jelenség bekövetkezéseinek időbeli ingadozásából ki lehet mutatni az e jelenséget befolyásoló hatást. Egy, már ismert bolygót tartalmazó rendszerben fedési módszernél a csillag előtti átvonulások között eltelt idő apró változásából következtethetnek a bolygó pályáját perturbáló további bolygó(k) meglétére.

### Pulzárjelek modulációja

A pulzár jeleinek frekvenciája periodikusan változik a körülötte keringő bolygó gravitációs hatása miatt, mert a pulzár is kering a közös tömegközéppont körül, rendszeresen közeledve-távolodva.



3. ábra. A csillag radiális sebessége változik, ha van bolygója [6].

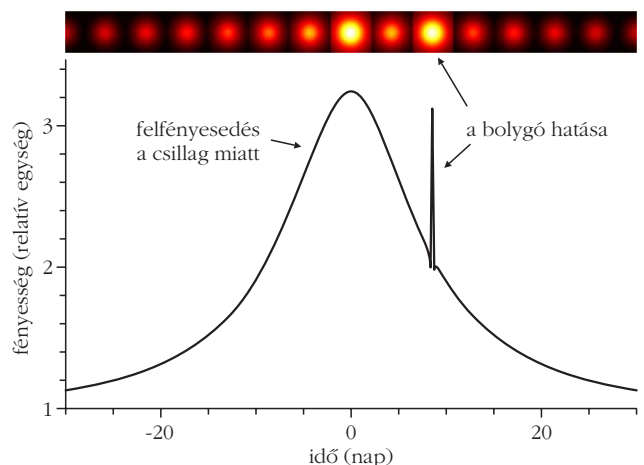
## Az exobolygók osztályozása

A felfedezett exobolygók sokfélék, tulajdonságaik alapján csoportokba sorolhatjuk őket. Jelenleg (2020. december 15.) 4389 exobolygó felfedezését erősítették meg 3241 bolygórendszerben (719 rendszerben több bolygó van) [7, 8]. Az exobolygókat tulajdonságaik alapján többféle módon csoportosíthatjuk.

A *gázóriások* között nagy számban fedeztek fel úgynevezett forró jupitereket. Ezen bolygók kis excentricitású, közeli pályán keringenek csillaguk körül, sokszor csupán néhány napos keringési periódussal. A csillagtól származó árapályerők miatt a nem pontosan gömb alakú forró jupiterek tengely körüli forgása kötött, azaz egy keringés alatt egyszer fordulnak meg tengelyük körül, vagyis felszínükön egy „év” időtartama egy „nappal” egyenlő. Emiatt légkörükben szélsőséges időjárási jelenségek lehetnek. Számítógépes szimulációk arra utalnak, hogy ezek a bolygók a csillaguktól távolabb jönnek létre, de az anyagkorongban keringve fékeződnek, és fokozatosan beljebb kerülnek. A forró jupitereknél nagyobb számban létezhetnek az úgynevezett forró neptunuszok.

A felfedezett Jupiter és Neptunusz méretű exobolygók között találtak rendkívül alacsony sűrűségű bolygókat (angolul puffy planet vagy hot-Saturn, illetve super-puff planet). A puffy planet típusú bolygók csil-

4. ábra. Egy háttércsillag felfényesedése, ha elhalad közöttünk egy bolygós csillag [5].



lagukhoz közel keringenek, a csillagtól származó intenzív hő és a bolygó belső hője együttesen járul hozzá a légkör felfújódásához. Ezek többnyire két Jupiter-tömeg alatti bolygók. A super-puff típusú bolygók tömege a Földének néhányszorosa, de sugaruk nagyobb a Neptunuszénál. Erre magyarázatként szolgálhat, hogy ezek valójában kisebb méretű, nagy gyűrűrendszerrel körülvett bolygók.

A *szuperföldek* olyan bolygók, amelyek tömege nagyobb a Földénél, de kisebb a Neptunuszénál, felső tömeghatáruk 10 földtömeg. Sűrűségük alapján a felépítésük többféle lehet. Az alacsony sűrűségűek főleg hidrogénből és héliumból állhatnak. A közepes sűrűségű szuperföldek magas víztartalmúak lehetnek, vagy sűrűbb a magjuk és vastag gázburok veszi körül azt. A magasabb sűrűségűek anyagát a Földhöz hasonlóan vas és különböző kőzetek alkotják.

## A Föld-hasonlósági index

A Föld-hasonlósági index 0 és 1 közé eső mérőszám, amely megmutatja, hogy a vizsgált bolygó mennyire hasonlít a Földhöz. Ehhez a bolygók sűrűségét, sugarát, hőmérsékletét és felszíni szökési sebességét hasonlítják össze. A Föld-hasonlósági index ( $ESI$ ) a következőképpen számítható ki [1]:

$$ESI = \sqrt{ESI_I ESI_S}.$$

A képletben  $ESI_I$  a bolygó belsejére,  $ESI_S$  a bolygó felszínére vonatkozó hasonlósági index. A bolygó belsejére vonatkozó hasonlósági index:

$$ESI_I = \sqrt{ESI_r ESI_\rho},$$

ahol  $ESI_r$  a sugárra,  $ESI_\rho$  a sűrűségre vonatkozó hasonlósági index. A bolygó felszínére vonatkozó hasonlósági index:

$$ESI_S = \sqrt{ESI_{ve} ESI_{T_s}},$$

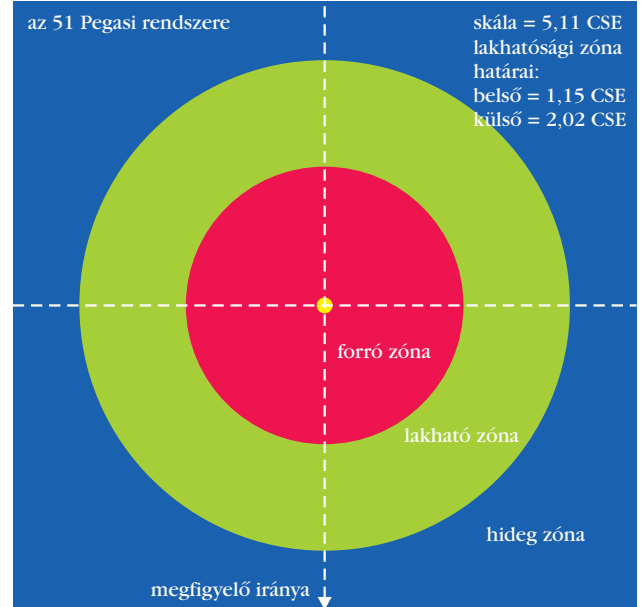
itt  $ESI_{ve}$  a szökési sebességre,  $ESI_{T_s}$  a felszíni hőmérsékletre vonatkozó hasonlósági index.

A különböző tulajdonságok hasonlósági indexeit a Bray–Curtis-féle hasonlósági index súlyozott átalakításával nyerjük [8], így  $ESI_r$ ,  $ESI_\rho$ ,  $ESI_{ve}$ ,  $ESI_{T_s}$  a következőképpen számítható ki:

$$ESI_x = \left(1 - \frac{|x - x_0|}{x + x_0}\right)^w.$$

A képletben  $x$ , illetve  $x_0$  a bolygóra, illetve a Földre vonatkozó érték,  $w$  a súlyozó kitevő.

Az  $ESI$  kiszámításához az [1] által használt súlyozó kitevőket használjuk: a sugárnál 0,57-ot, a sűrűségnél 1,07-ot, a szökési sebességnél 0,70-ot, a hőmérsékletnél 5,58-ot. Vannak olyan exobolygók, amelyek  $ESI$  értéke kissé nagyobb mint 0,9. Az  $ESI$  érték azonban nem elég a bolygó lakhatóságának megítéléséhez.



5. ábra. A bolygórendszerek felosztása zónákra.

## A Naprendszer-hasonlósági index

A Naprendszer-hasonlósági index egy olyan, 0 és 1 közé eső mérőszám, amely megmutatja, hogy a vizsgált bolygórendszer mennyire hasonlít a Naprendszerre.

### Első verzió

A Naprendszer-hasonlósági index képletének meghatározásakor a bolygórendszereket három, a hőmérséklettől függő részre osztottuk: a forró, a lakható és a hideg zónára (5. ábra). Mindhárom zónára hasonlósági indexet definiálhatunk, ezek kombinálásával számítottuk ki a Naprendszer-hasonlósági indexet.

A Naprendszer-hasonlósági index képletének meghatározásakor figyelembe vettük a lakhatósági zóna és a lakhatósági zónánál beljebb eső, forró zóna szélességét. Ezek függenek az adott csillag luminozitásától. A képlet megalkotása során még felhasználtuk a forró, lakható és a hideg zónában elhelyezkedő bolygók számát és Föld-hasonlósági indexét. A különböző tulajdonságok összehasonlításakor egy kivétellel a Föld-hasonlósági index által is használt Bray–Curtis-féle hasonlósági indexet alkalmaztuk. A forró és a lakható zóna esetében három, a hideg zónánál két tulajdonságot hasonlítottunk össze. A különböző zónák hasonlósági indexét a mértani középvel jellemezzük.

A forró zóna hasonlósági indexe:

$$HI_f = \sqrt[3]{\left(1 - \frac{|D_f - D_{f0}|}{D_f + D_{f0}}\right)} \cdot \sqrt[3]{\left(1 - \frac{|N_f - N_{f0}|}{N_f + N_{f0}}\right)} \cdot \sqrt[3]{\left(1 - \frac{|ESI_f - ESI_{f0}|}{ESI_f + ESI_{f0}}\right)},$$

ahol  $D_f$  a forró zóna szélessége csillagászati egységben,  $N_f$  a forró zónában elhelyezkedő bolygók száma,  $ESI_f$  a forró zónában lévő bolygók Föld-hasonlósági indexeinek számtani átlaga,  $D_{f0}$ ,  $N_{f0}$ ,  $ESI_{f0}$  a Naprendszerre vonatkozó értékek.

A lakható zóna hasonlósági indexe:

$$HI_l = \sqrt[3]{\left(1 - \frac{|D_l - D_{l0}|}{D_l + D_{l0}}\right) \cdot \left(1 - \frac{|N_l - N_{l0}|}{N_l + N_{l0}}\right) \cdot ESI_{\max}}$$

A képletben  $D_l$  a lakható zóna szélessége csillagászati egységben,  $N_l$  a lakható zónában elhelyezkedő bolygók száma,  $ESI_{\max}$  a Földre leginkább hasonlító bolygó Föld-hasonlósági indexe.  $D_{l0}$ ,  $N_{l0}$  a Naprendszerre vonatkozó értékek.

A hideg zóna hasonlósági indexe:

$$HI_b = \sqrt{\left(1 - \frac{|N_b - N_{b0}|}{N_b + N_{b0}}\right) \cdot \left(1 - \frac{|ESI_b - ESI_{b0}|}{ESI_b + ESI_{b0}}\right)}$$

ahol az egyes jelölések értelme a forró és lakható zónában használtakból következik.

Ezen hasonlósági indexek fontos tulajdonsága, hogy zérus bolygósám esetén zérus értéket adnak, így a bolygórendszer nélküli csillag Naprendszer-hasonlósági indexe nulla.

A Naprendszer-hasonlósági indexet definiáló képlet a következő:

$$NHI = \frac{1}{4} HI_f + \frac{1}{2} HI_l + \frac{1}{4} HI_b$$

A képletben – mint fentebb szerepelt –  $HI_f$  a forró,  $HI_l$  a lakható és  $HI_b$  a hideg zóna hasonlósági indexe.

Az lakhatósági zónák külső és belső határainak meghatározásához a következő összefüggéseket használjuk fel [10].

Elsőként szükségünk van az adott csillag  $L$  luminozitására, amely a következő módon számítható ki:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{\text{eff}}^4$$

ahol  $R$  a csillag sugara,  $T_{\text{eff}}$  a csillag effektív hőmérséklete,  $\sigma$  a Stefan–Boltzmann-állandó.

Ezután felhasználva az „elszabaduló” üvegházhatás és a maximális üvegházhatás határeseteit a lakható zóna két szélén, a megfelelő  $S$  csillagfluxusok ezeken a határokon [10]:

$$S_{\text{belső}} = 4,19 \cdot 10^{-8} T_{\text{eff}}^2 - 2,139 \cdot 10^{-4} T_{\text{eff}} + 1,268 \text{ és}$$

$$S_{\text{külső}} = 6,19 \cdot 10^{-9} T_{\text{eff}}^2 - 1,319 \cdot 10^{-5} T_{\text{eff}} + 0,2341$$

A lakhatósági zóna belső, illetve külső határa a következő módon számítható ki:

$$r_{\text{belső}} = \sqrt{\frac{L}{S_{\text{belső}}}} \quad \text{és} \quad r_{\text{külső}} = \sqrt{\frac{L}{S_{\text{külső}}}}$$

A képletekben a luminozitás egysége a Nap luminozitása, így a határokat csillagászati egységben kapjuk.

Második verzió

Itt az első verzióban nem szereplő tulajdonságokat is figyelembe vettük a Naprendszer-hasonlósági index képletének megalkotásakor. A forró és lakható zónák hasonlósági indexeiben nem szerepelnek a zónák szélességei, ehelyett bevezettük a luminozitásokat összehasonlító csillag-hasonlósági indexet. A képletben szerepel egy ötödik hasonlósági index is, amelyik a bolygópályák egymástól való átlagos távolságát veszi figyelembe.

A csillag hasonlósági indexe:

$$HI_{\text{cs}} = 1 - \frac{|L - L_0|}{L + L_0}$$

ahol  $L$  a vizsgált csillag,  $L_0$  pedig a Nap luminozitása.

A forró zóna hasonlósági indexe:

$$HI_f = \sqrt{\left(1 - \frac{|N_f - N_{f0}|}{N_f + N_{f0}}\right) \cdot \left(1 - \frac{|ESI_f - ESI_{f0}|}{ESI_f + ESI_{f0}}\right)}$$

a lakható zóna hasonlósági indexe:

$$HI_l = \sqrt{\left(1 - \frac{|N_l - N_{l0}|}{N_l + N_{l0}}\right) \cdot ESI_{\max}}$$

és a hideg zóna hasonlósági indexe:

$$HI_b = \sqrt{\left(1 - \frac{|N_b - N_{b0}|}{N_b + N_{b0}}\right) \cdot \left(1 - \frac{|ESI_b - ESI_{b0}|}{ESI_b + ESI_{b0}}\right)}$$

a képletekben használt jelölések megegyeznek az első verzióban bevezetettekkel.

A bolygópályák egymástól való átlagos távolságának hasonlósági indexe:

$$HI_p = 1 - \frac{|D - D_0|}{D + D_0}$$

itt  $D$  a vizsgált rendszer,  $D_0$  a Naprendszer bolygópályáinak átlagos távolsága. A bolygópályák egymástól való átlagos távolságát a következőképpen számítottuk ki:

$$D = \sqrt[n-1]{(a_2 - a_1) \cdot (a_3 - a_2) \cdot \dots \cdot (a_n - a_{n-1})}$$

ahol  $a_1$  a csillaghoz legközelebbi,  $a_2$  a második legközelebbi,  $a_n$  a legtávolabbi bolygó fél nagytengelye.

A távolságok összehasonlításánál a Naprendszer annyi bolygóját vettük figyelembe, ahány bolygó az adott exobolygórendszerben van. Például a HD 10180 jelenlegi tudásunk szerint hat bolygót tartalmazó rendszere esetén a Naprendszer első hat bolygóját választottuk.

A Naprendszer-hasonlósági indexet definiáló képlet a következő:

$$NHI = \frac{1}{6} HI_{cs} + \frac{1}{6} HI_f + \frac{1}{3} HI_l + \frac{1}{6} HI_b + \frac{1}{6} HI_p.$$

A képletben – mint már szerepelt –  $HI_{cs}$  a csillag,  $HI_f$  a forró zóna,  $HI_l$  a lakható zóna,  $HI_b$  a hideg zóna,  $HI_p$  bolygópályák egymástól való átlagos távolságának hasonlósági indexe.

## Eredmények

Összesen 81, legalább négy bolygót tartalmazó exobolygórendszert vizsgáltunk meg. A Naprendszerre legjobban hasonlító rendszer mindkét verzió szerint a HD 34445 csillag bolygórendszere, hasonlósági indexe 0,71, illetve 0,72.

A bolygók és a csillagok adatait a *The Extrasolar Planet Encyclopaedia* [6], a *NASA Exoplanet Archive* [4] és a *Habitable Zone Gallery* [8] adatbázisából vettük. Az előbb felsorolt katalógusok nem minden esetben tartalmazták a bolygók összes adatát, ilyenkor a szükséges hiányzó adatokat a [12] oldalairól szereztük be. A lakhatósági zónák meghatározásakor a *Habitable Zone Gallery* ábrái is segítséget nyújtottak.

A bolygók hőmérsékleteit az alábbi képlet alapján határoztuk meg [10]:

$$T = \sqrt[4]{\frac{L_{\star}(1-A)}{16\pi\sigma r^2}} \quad \text{vagy}$$

$$T = T_{\star} \sqrt{\frac{R}{2r}} \sqrt[4]{1-A}.$$

A képletekben  $L_{\star}$  a csillag luminozitása,  $T_{\star}$  a csillag felszíni hőmérséklete,  $A$  a (Bond-)albedó,  $r$  a csillag és a bolygó közötti távolság. Mivel az exobolygók albedóját nem ismerjük, minden bolygót abszolút fekete testként vettünk számba, azaz egyensúlyi hőmérsékletüket 0 albedóval számítottuk ki.

A vizsgált rendszereket saját készítésű ábrákon is összehasonlítottuk. A hátsó fedélen a 19 legnagyobb Naprendszer-hasonlósági indexű bolygórendszert ábrázoltuk. A bolygók elhelyezkedése csillaguktól való távolságukkal, nagyságuk a sugarukkal arányos. A bolygók színe azt mutatja meg, hogy lakhatóság szempontjából mekkora távolságra vannak csillagjuktól. Piros szín jelzi, ha a bolygó a forró zónában kering, a zöld színű bolygók a lakhatósági zónában, a kék színűek pedig a hideg zónában vannak. A bolygórendszerek csillagait színes betűkkel írtuk. Piros

színnel az M, narancs színnel a K, sárga színnel a G, fehér színnel (ez csak a [3] elektronikus verzióban szerepel) az F színképosztályú csillagokat jelöltük. (Az M, K, G, F színképtípusok növekvő effektív hőmérsékletnek felelnek meg.) A csillagok neve mellett, zárójelben a bolygórendszer hasonlósági indexe látható (az első verzió alapján).

További ábrák és táblázatok a vizsgált bolygók és bolygórendszerek adataival a [3] elektronikus verziójában találhatók.

Általános következtetésünk az, hogy a vizsgált bolygórendszerek nagy többsége alig hasonlít a Naprendszerre. Többségük a csillagához és egymáshoz is viszonylag közeli pályán keringő bolygókból áll.

Az exobolygók detektálására használt módszerek jelenleg nem elég érzékenyek ahhoz, hogy a csillagok körül keringő összes bolygót észrevegyük. A vizsgált bolygórendszerek közül feltehetően soknak lehet még felfedezetlen bolygója, ami azt jelentheti, hogy egyes bolygórendszerek valójában jobban hasonlítanak a Naprendszerre, mint ahogyan a rendelkezésre álló adatok utalnak rá. A másik nagy kérdés a holdak gyakorisága. A csillaghoz és egymáshoz közeli bolygópályák esetén a holdak jelenlétének esélye igen csekély.

Az eddig összegyűlt adatok alapján levonható az a következtetés, hogy a Naprendszerhez hasonló bolygórendszerek nem számítanak gyakorinak. A felfedezett bolygók, bolygórendszerek sokfélesége arra utal, hogy a bolygórendszerek kialakulása, fejlődése többféleképpen megy végbe, és Naprendszerünk sajátos szerkezete, kialakulási folyamata kis valószínűségű eset lehet a többihez képest. Ez pedig összefügghet a földi típusú élet gyakoriságával is.

## Irodalom

- Schulze-Makuch D., Mendez A., Fairen A. G., von Paris P., Turse C., Boyer G., Davila A. F., Resendes de Sousa Antonio M., Catling D., Irwin L. N.: A Two-Tiered Approach to Assessing the Habitability of Exoplanets. *Astrobiology* 11/10 (2011) 1041–1052.
- <http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog>
- Mészáros R.: *A Naprendszer-hasonlósági index*. BSc szakdolgozat, SZTE 2020. témavezető: Szatmáry K. [http://astro.u-szeged.hu/szakdolgoz/meszarosrichard\\_szdBSc/MeszarosRichard\\_szdBSc.pdf](http://astro.u-szeged.hu/szakdolgoz/meszarosrichard_szdBSc/MeszarosRichard_szdBSc.pdf)
- <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu>
- Szatmáry K.: Exobolygók. *Magyar Tudomány* 2006. augusztus, 968.
- Szatmáry K.: Bolygók mindenütt. *Fizikai Szemle* 57/12 (2007) 433.
- <http://exoplanet.eu/catalog/>
- <https://exoplanets.nasa.gov/exoplanet-catalog/>
- Bloom S. A.: Similarity indices in community studies: potential pitfalls. *Marine Ecology Progress Series* 5 (1981) 125–128.
- Kane S. R., Gelino D. M.: The Habitable Zone Gallery. *PASP* 124 (2012) 323–328.
- Underwood D. R., Jones B. W., Sleep P. N.: The evolution of habitable zones during stellar lifetimes and its implications on the search for extraterrestrial life. *International Journal of Astrobiology* 2/4 (2003) 289–299.
- <http://www.hzgallery.org>

Szerkesztőség: 1092 Budapest, Ráday utca 18. földszint III., Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

A Társulat Internet honlapja <http://www.elft.hu>, e-postacíme: [elft@elft.hu](mailto:elft@elft.hu)

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős kiadó Groma István főtájtár, felelős szerkesztő Lendvai János főszerkesztő.

Kéziratokat nem őrzünk meg és nem küldünk vissza. A szerzőknek tiszteletpéldányt küldünk.

Nyomdai előkészítés: Kármán Stúdió, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szatmáry Attila ügyvezető igazgató.

Terjeszti az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, előfizethető a Társulatnál vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyszámlán.

Megjelenik havonta (nyáron duplaszámmal), egyes szám ára: 1000,- Ft (duplaszámmal 2000,- Ft) + postaköltség.

HU ISSN 0015-3257 (nyomtatott) és HU ISSN 1588-0540 (online)

