



SZABÓ M. GYULA – SZABÓ RÓBERT

# Exobolygó-eldorádó

A ttól a felismerésétől kezdve, hogy a csillagok a Naphoz hasonló égitestek, a csillagászat kiemelkedő kérdései közé tartozott a Nap és a csillagok összehasonlító vizsgálata; tekintetbe véve kialakulásukat, fejlődésüket ugyanúgy, mint közvetlen környezetüket: a naprendszerek kialakulását, szerkezetét és fejlődését. A legújabb megfigyelési technikáknak köszönhetően a távoli naprendszerek vizsgálata éppen azért válhatott a csillagászat egyik húzóágazatává, mert természete szerint interdiszciplináris: módszerei és eredményei oda-vissza áramlanak az asztrofizika és a Naprendszerrel foglalkozó tudományok – az összehasonlító planetológia, a kis égitestek és az asztrobiológia területei – között. Kiemelendő a tudományterület ismeretterjesztő potenciálja is, mert eredményei szemléletesek, és társadalmi megítélése szerint emberközpontú.

E távoli naprendszerek kialakulásakor a protoplanetáris korongból hasonlóan alakulhattak ki a bolygók és a bolygóvá összeállni nem tudó planetézimálok, kis égitestek, ahogyan az a Naprendszer esetében is lezajlott. Ennek megfelelően a távoli naprendszerekben is megtalálhatjuk a különböző tömegű bolygókat, a kisbolygóöveget, üstökösöket és a bolygóközi port is.

Ma a távoli naprendszereket az exobolygók és exobolygó-rendszerek képviselik számunkra, mivel a legnagyobb tömegű és méretű komponensek – a bolygók – megfigyelése a legegyszerűbb. A két legsikeresebb módszer a rádiálissebesség-mérés és a bolygóátvonulások (tranzitok) megfigyelése. Rádiálissebesség-méréskor a rendszer közös tömegközéppontja körül keringő csillag látóirányú mozgását észleljük (a színképvonalak Doppler-eltolódása miatt), és ebből következtethetünk a kísérő jelenlétére (1. ábra). A bolygók és a naprendszerek megismerése szempontjából különösen fontos csoportot alkotnak azok a bolygók, amelyeket – a ritka és kedvező geometriából adódóan – periodikusan elvonulni látunk csillaguk korongja előtt (tranzit) (2. ábra). A fényességcsökkenés nagyjából a bolygó- és a csillagkorong méretarányával jellemezhető: tehát nagyobb bolygók esetében 1–2 százalékos fényességváltozás kimutatására van lehetőség, míg egy Föld-méretű bolygónak egy Naphoz hasonló csillag előtt való átvonulása mindössze 0,01% intenzitáscsök-

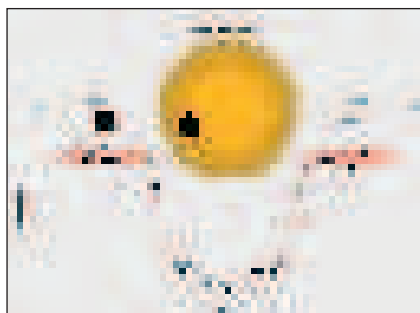


1. ábra. A bolygó és a csillag egymás körüli keringése miatt a csillag látóirányú sebességvektorában periodikus jel detektálható, amely szoros összefüggésben áll a csillag színképvonalainak elmozdulásával. Ha a csillag közeledik felénk, a vonalak a rövidebb (kék), míg ha távolodik tőlünk, a hosszabb (vörös) hullámhosszak felé tolódnak el

kenést eredményez. A fényességcsökkenés mértékéből meghatározható a bolygó mérete, a közös tömegközéppont körül keringő csillag rádiálissebesség-változásából pedig a bolygó tömege is.

Jelenleg már csaknem kilencszáz, más csillag körül keringő bolygót ismerünk, ezek harmadát találták tranzitmódszerrel.

2. ábra. A csillaga előtt elhaladó bolygó csökkenti a csillag látszó fényességét, amelyet időben ábrázolva jellegzetes fénygörbét kapunk



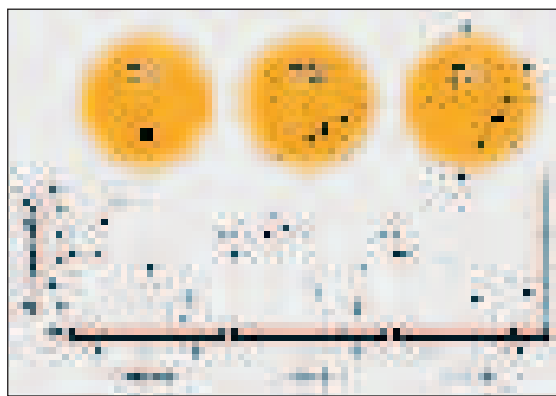
Az ilyen bolygók többsége a Jupiterhez hasonló gázóriás. Túlnyomó többségük saját Naprendszerünkben ismeretlen ún. „forró” típusú (a definíció egyelőre még kissé bizonytalan, általában a 0,05 csillagászati egységnek kisebb sugarú pályán keringő bolygókat sorolják ide, de egyéb konvenció is lehetséges). Ha meg tudjuk figyelni egy forró exobolygó eltűnését a csillag mögött is (másodlagos tranzit), meghatározhatjuk a bolygó saját luminozitását, amely a hőmérséklet és az albedó (fényvisszaverő képesség) kiszámítását teszi lehetővé.

Spektroszkópiai megfigyelésekkel a bolygó pályájának a csillag forgástengelyéhez mért szögét is meg lehet határozni. A mérés elve, hogy az átvonuló bolygó a tranzit során a csillag különböző rádiális sebességgel mozgó részeit takarja ki, ami az átlagos rádiális sebesség jellegzetes torzulását okozza (Rossiter–McLaughlin-effektus, 3. ábra). A megfigyelések arra utalnak, hogy a forró jupiterek jelentős része (nagyjából harmada) a csillag egyenlítőjéhez nagy szögben hajló pályán kering, és nem ritka a csillag forgásával ellentétes

irányú keringés sem. Ez rendkívül meglepő, és egyelőre nem is sikerült megnyugtatóan magyarázni. Különös, bár statisztikailag egyelőre csak valószínű feltételezés, hogy a magasabb felszíni hőmérsékletű csillagok hajlamosak nagy inklinációjú pályán keringő forró jupiterekre „tartani”, míg a Naphoz hasonló vagy hűvösebb csillagok nem igazán. A jelenség talán bimodális bolygókeletkezéssel, vagy egzotikus, árapályerők által irányított későbbi pályafejlődéssel magyarázható.

### Bolygóbelső és -léggörök

A tömeg és sűrűség ismeretében információhoz juthatunk a belső szerkezetet illetően, szerencsés esetben pedig – spektroszkópiai mérések segítségével – a felsőléggör legfontosabb alkotóelemeit is meg lehet határozni. Az ismert exobolygók atmoszférájában eddig metánt (pl. WASP-12b, HD 189733b), szén-monoxidot, szén-dioxidot (pl. GJ 436b), vízgőzt, titán-oxidot, vanádium-oxidot, nátrium- és káliumionokat (pl. HD 209458b) azonosítottak. E megfigyelések alapján az ismert exobolygók a Naprendszer óriásbolygóira hasonlíthatnak, egy másik csoportjuk pedig felépítés szempontjából átmenetet jelenthet a bolygók és az ún. barna törpe csillagok között.



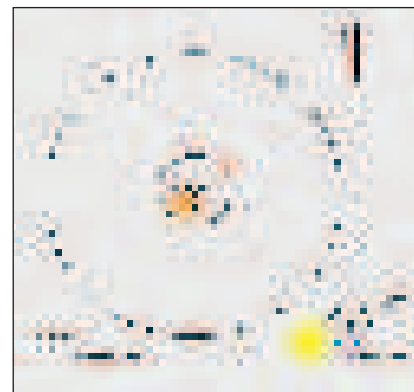
**3. ábra. A Rossiter–McLaughlin-effektus görbéje különböző ferdeségű bolygópályák esetében (Gaudi és Winn, 2007) ( $\lambda$  a bolygó pályasíkjának normálisa és a csillag forgástengelye által bezárt szög;  $b$  a bolygó impakt paramétere, amely azt adja meg, hogy a bolygó a csillag középpontjától milyen távolságban halad el, centrális tranzit esetén értéke 0, a csillag peremén való áthaladáskor pedig 1**

Az exobolygók légkörének mélységi vizsgálata egyelőre csak modellekkel történő összehasonlítás révén lehetséges (kis módosításokkal a csillaglégkörökre vonatkozó modelleket lehet alkalmazni), és a megfigyelt szinkép illesztésével tárható föl a belső szerkezet néhány jellemző vonása. E modellekben feltétlenül figyelembe kell

venni az erős külső megvilágítást, valamint – az óriásbolygók esetében – a bolygó lassú, milliárd éves időskálán zajló összehúzódását is (ami belső hőtermelés forrása). Fontos eltérés a csillagokhoz képest, hogy a bolygónak lehet szilárd magja, ám ennek tömege egyelőre nem meghatározható, így szintén illesztendő paraméter. Ha megfelelő pontossággal ismerjük az anyacsillag luminozitását és életkorát, akkor egy körülötte keringő óriásbolygó belső szerkezetének modellezése lényegében két paraméterre (a szilárd mag tömegének és az össztömeg meghatározására) egyszerűsödik. Kisebb bolygók (azaz kevésbé kiterjedt légkör) esetében más paraméterekre lehet szükség: itt a bolygó vas- és kőzetartalma, jégtartalma és légkörének tömege lép fel modellparaméterként (a szóhasználat kissé leegyszerűsített, ugyanis az exoplanetológiában minden illékony, szerves vagy szervetlen, nem gáz halmazállapotú anyag neve jég, akkor is, ha az anyag történetesen cseppfolyós).

A forró gázóriásokat a légköri megfigyelések szerint két nagy csoportra osztják. A hűvösebb, nagyjából 1000–1500 K hőmérsékletű forró jupiterek alkotják az ún. pL csoportot: ezeknél jelentős radiális konvekció alakul ki, és a felsőléggörüket sűrű felhők alkotják (az albedójuk nagy, hasonlóan a Jupiteréhez és a Szaturnuszéhoz). A másik, ún. pM csoport tagjainak felsőléggörében sztratoszféra, azaz hőmérsékleti inverzió alakul ki, amely megállítja a konvekciót (ilyen planétát a Naprendszerben nem ismerünk). Ebbe a csoportba a 2000 K-nél magasabb effektív hőmérsékletű bolygók tartoznak, amelyek leginkább az M típusú törpecsillagokra hasonlítanak (innen az elnevezés). Ezen bolygók esetében nincs felhőképződés, a légkör jó közelítéssel abszolút fekete test, és az atmoszférában mélyebbre „látunk”. A csillag közelsége miatt e bolygók légköre is viharos, de ebben az esetben a sztratoszférában inkább a felszínnel párhuzamos irányú szelek jellemzőek. Néhány exobolygó „vegyes” képet mutat: a csillag felé eső oldalon forróbb (itt a légkör a pM csoportra jellemző), az éjszakai oldalon pedig hűvösebb, nagyobb albedójú terület alakul ki. Ezekben az esetekben a forró folt gyakran kissé eltérő irányba esik, mint amerre a csillag látszik a bolygó felől – ezen aszimmetriák oka egyelőre tisztázatlan.

Néhány forró jupiter légköre folyamatosan párolog: a csillagszél és a sugárnyomás elfűjjük a bolygó nagy besugárzástól jelentősen kitágult lazán kötött felsőléggörét. Az ilyen bolygók körül jelentős méretű, ritka gázokból és plazmából álló felhő alakul ki, amelyet például a hidrogén Lyman-alfa vonalán végzett megfigyelésekkel mutathatunk ki. A HD



**4. ábra. A Kepler-16 rendszer méretarányos elrendezése**

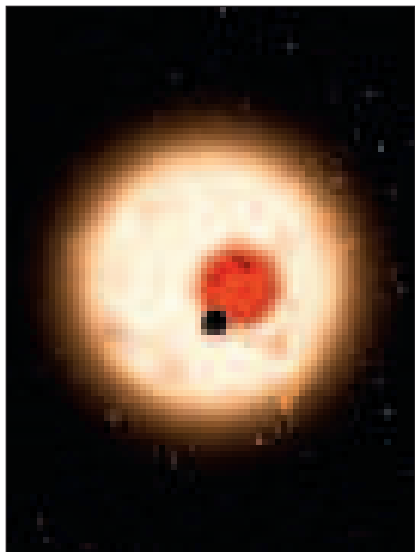
209458b bolygó esetében a tranzit mélysége Lyman-alfa hullámhosszán (1216 Å) a rendszerből jövő teljes intenzitás 0,12 része, vagyis a bolygó körül kialakult hidrogénfelhő olyan mértékben kiterjedt, hogy a csillag fényének 12%-át elnyeli! (Pontosabban a Lyman-alfa hullámhosszán kisugárzott energia 12%-a a felhő hidrogénanyagának ionizálására fordítódik.) Ennél a rendszernél teljes elnyelést feltételezve is kiterjedtebb felhőt kapunk, mint a csillag méretének harmada!

### A Kepler-forradalom a bolygókutatásban

A NASA 2009 tavasza óta működő Kepler-űrtávcsőve nagyon pontos és folyamatos fényességmérései révén a megerősített fedési bolygók száma eddig mintegy százötvenre növekedett, ám összesen 2730 hivatalos bolygójelöltet jelentett be a Kepler tudóscsapata. Mások még további száz bolygójelöltet találtak a megfigyelési adatokban, amelyekről egyesével állapították meg, hogy milyen valószínűséggel lehetnek tényleges bolygók (vagy nagyobb tömegű égitestek, pl. háttérben lévő fedési kettőscsillagok előtérscillagokkal összeolvadó fényváltozása). A bolygójelöltek várhatóan nagy száma mellett az is figyelemre méltó, hogy e rendszerek nagyjából fele több bolygót is tartalmaz, és ismerünk hármas, négyes, ötös, sőt hatos fedési rendszereket is! Ez a mennyiség már statisztikai megfontolásoknak is teret enged.



Fontos megfigyelés, hogy a többes rendszerek jellemzően sűrűn vannak bolygókkal övezve. Ez azt jelenti, hogy újabb bolygót nem lehet a rendszerbe tenni, mert akkor a gravitációs pályaháborgások a bolygókat szétszórják. Hasonló sors várna a rendszerre akkor is, ha valamelyik bolygó jelentősen elvándorolna a pályájáról. (Hasonló dinamikai



5. ábra. A Kepler-16 művészi elképzelése (forrás:NASA/JPL-Caltech/R. Hurt)

tulajdonsága egyébként a mi Naprendszerünknek is van.) Ez alapján a kutatók arra gondolnak, hogy a bolygók jellemzően nem vándorolnak nagy távolságokat a naprendszerek fejlődése közben sem. Mivel néhány évvel ezelőtt több jelenséget is jelentős bolygómigrációval magyaráztak, az új megfigyelések tükrében e magyarázatokat szintén revidálni kell. A Kepler-bolygók eloszlásának másik fontos tanulsága, hogy többes rendszerekben csak a jupiterénél kisebb tömegű neptunuszokat találtak. Ezek alapján fölvethető, hogy a bolygókeletkezés többféle utat követhet: vagy forró jupiter (és esetleg további jupiterek) jönnek létre egy rendszerben, kisebb tömegű bolygók nélkül; vagy kisebb tömegű bolygók is keletkeznek, de akkor a csillaghoz közeli jupiter kialakulása igen valószínűtlen. Ez a megfigyelés jelentősen árnyalja a korábbi bolygókeletkezési képet, amely még nagy tömegű bolygók gyors keletkezésével számolt egy első fázisban, és megjósolta a kisebb tömegű bolygók keletkezését is ugyanezekben a rendszerekben egy későbbi fázisban - lényegében ez az a konfiguráció, amelyre nem találunk példát a Kepler bolygójelöltjei között.

### Amikor a sci-fi valóra válik

Emlékeztet a *Csillagok háborúja* című film egyik jelenete, amelyben a főhős a távoli Tatoonie bolygón kémleli a látóhatárt, ahol éppen két nap készül lenyugodni. Elsőként a Kepler-úrtávcsővel sikerült ilyen planétát találni: a Kepler-16 nevű rendszerben egy 0,69 (narancsszínű) és egy 0,20 naptömegű (vörös) törpecsillag elnyúlt pályán, 41 nap alatt végez egy keringést a közös tömegközéppont körül (4. ábra). Ezenkívül egy Szaturnusz méretű gázbolygó is a rendszerhez tartozik, amely 229 nap alatt kerüli meg a csillagokat (5. ábra). A véletlennek köszönhetően a két törpecsillag kölcsönösen elfedi egymást, s a bolygó is átvonul mindkét csillag korongja előtt a Földről nézve. A rendszer mérési adataiban így összesen négyféle, periodikusan ismétlődő fényességcsökkenés található. A csillagfedésekben időbeli csúszkálást találtak, amit a Kepler-16b jelű planéta gravitációs hatása okoz, így a mérésekből megbecsülhető annak tömege, ami a Jupiternél kisebbnek adódott. Sűrűsége  $0,96 \text{ g/cm}^3$ , összetételét tekintve fele részben hidrogénből és héliumból, fele részben nehezebb elemekből állhat, felszíni hőmérséklete  $-100$  és  $-70$  °C közötti. A 200 fényévre lévő Kepler-16 geometriája arra utal, hogy a bolygó a rendszer korai történetében, a csillagpárt övező anyagkorongban keletkezhetett. A science fiction és a tudomány szimbiózisát jelző felfedezésben kollégánk, Fűrész Gábor (Center for Astrophysics, Boston) végezte a spektroszkópiai megerősítő méréseket az arizonai Fred Lawrence Whipple Observatóriumban.

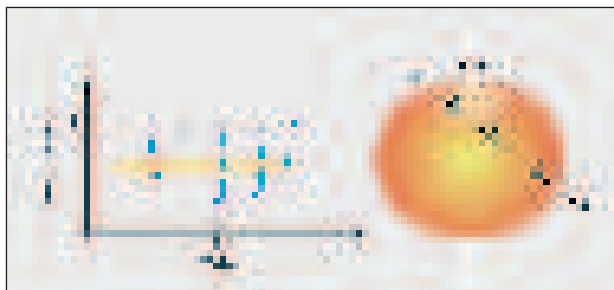
Az áttörést jelentő felfedezés után maradt azonban egy égető kérdés: mennyire gyakoriak a kettőscsillagok körül keringő bolygók? Lehet, hogy egy egyedülálló rendszert sikerült találni, amelyhez hasonlókat felfedezni még a legjobb műszerekkel is reménytelen? A válasz a Kepler-adatokban rejlett: a fedéseket mutató kettőscsillagok között további két hasonló csillagpárt találtak bolygóval (Kepler-34b és Kepler-35b), ami arra utal, hogy ezek a rendszerek gyakoriak: statisztikai becslések szerint akár több millió is lehet belőlük Galaxisunkban. A két utóbbi rendszer egyébként nagyon hasonló a Kepler-16b-hez: mindhárom bolygó

Szaturnusz méretű. A Kepler-34b 29 nap alatt kerüli meg a Naphoz tömegben és méretben hasonlító csillagokból álló párost, míg a harmadik kettőscsillaghoz tartozó bolygónak 131 napra van szüksége ugyanehhez. A központi égitestek itt 0,80 és 0,89 naptömegűek. A két utóbbi planéta egyébként a legtöbb ismert exobolygóhoz képest meglepően messze van a Naptól: 4900 és 5400 fényévre kellene elhelyezni a távolságukat jelképező képzeletbeli kilométerkövet.

### Magyar kutatások

A Csillagászati Intézet kutatói számos exobolygós vizsgálatot végeznek, befejezésül ezekből válogattunk egy csokorra valót. Az alább felsorolt kutatásokhoz képest is teljesen új horizontot nyitott az ELTE Gothard Asztrofizikai Observatórium által beszerzett spektrográf, amelyel a bolygók radiális sebesség-módszeren alapuló vizsgálata is lehetséges (a szombathelyi, vagy a piszkás-tetői megfigyelőbázisról). Az új műszerrel kapott eredményekről várhatóan egy későbbi írásban számolunk be.

A gyorsan forgó csillagok alakja a centrifugális erő miatt ellapul, az egyenlítő távolabb, a pólusok közelebb kerülnek a csillag magjához. Így a csillag pólusvidékei magasabb hőmérsékletűek lesznek, mint az egyenlítő. Ha egy ilyen csillag előtt ferde pályán halad el egy bolygó, akkor a rendszer fénygörbéje jellegze-



6. ábra. A KOI-13 aszimmetrikus fedési görbéjének kialakulása a gyorsan forgó csillag egyenetlen fényességeloszlásának a következménye

tes torzulást mutat, hiszen az átvonulás megfelelő részén, ahol a forróbb terület előtt tartózkodik a bolygó, a kikapart fény több, így az átvonulás fénygörbéjében egy lokális minimum keletkezik. Ha ilyen fénygörbetorzulást látunk, abból egyszerűen következtethetünk a csillag gyors forgására és a bolygó ferde pályájára – az utóbbi konklúzió a bolygókeletkezési és -vándorlási folyamatok nagyon fontos, ám eddig még nem pontosan tisztázott szerepű nyomjelzője.

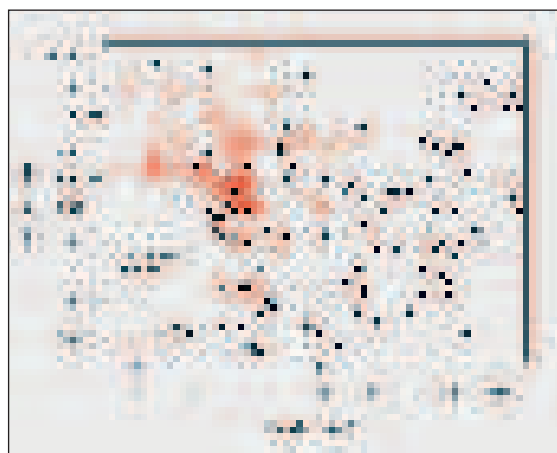
Ezt a jelenséget elméleti megfontolások alapján 2009-ben jósolta meg J. W. Barnes, ám mostanáig nem sikerült megfigyelni. Az első ilyen típusú rendszer azonosítása szintén magyar kutatócsoportunk eredménye. A detektálás a Kepler-űrtávcső nyilvános adatainak átnézésén alapul, amelyet egy németországi távcsővel készített, nagy felbontású szinképpel (Holger Lehmann, Thüringiai Csillagvizsgáló, Németország), valamint a legnagyobb magyar távcső, a piszkés-tetői 1 méteres RCC nagy szögfelbontású megfigyeléseivel egészítettünk ki.

A KOI-13.01 nevű égitestet (KOI: Kepler Object of Interest) a Kepler-űrtávcső által talált bolygójelöltek között jelentették be 2011 februárjában. Kutatócsoportunk Szabó M. Gyula és Szabó Róbert vezetésével először a fénygörbe aszimmetriájára lett figyelmes (6. ábra), majd később kiderítettük, hogy egy száz éve ismert, szoros, kissé eltérő fényességű kettőscsillag egyik tagja körül kering a kíséző. Egy tranzit nagy szögfelbontású megfigyelésével, valamint a Kepler-adatok „trükkös” újradekódolásával kiderült, hogy a kíséző a kettős fényesebb csillaga körül kering. Egy olyan rendszert kell elképzelnünk, amelyben két gyorsan forgó, kissé lapult, forró, nagyméretű csillag kering egymástól nagyságrendileg ezerszeres Nap-Föld távolságban; a fényesebb csillag körül pedig nagy inklinációjú (ferde) pályán kering a bolygójelölt kíséző, mégpedig a csillag sugarának mindössze hatszoros(!) távolságában.

További Kepler-fotometria alapján a KOI-13 újabb egzotikumaira is fény derült. A fotometriai adatsorban megfigyelhető egy 25,4 órás jel is, amelyet a csillag forgásával lehet a legvalószínűbben magyarázni. Ez a periódus pontosan 5:3 arányban áll a bolygó keringésével. A csillag forgása és a bolygó keringése valamilyen rezonáns (kis egész számok hányadosával jellemezhető) arány mellett összehangolódott, lényegében az ilyen rendszerek prototípusa lehet a KOI-13. A KOI-13 még egy szempontból egyedi rendszer: a tranzit időtartamainak fokozatos növekedése is megfigyelhető az adatsorban. Ezt azzal lehet magyarázni, hogy a kíséző pályája a csillag forgása következtében lassan elfordul, így a csillagból elfedett húr hossza változik. Hatvan-száz év múlva a KOI-13 többé nem lesz fedési rendszer, mert a bolygó pályája kifordul a látóirányból...

Szabó M. Gyula és Kiss L. László tranzitos exobolygók eloszlását elemezve meglepő jelenségre hívta fel a figyelmet: három napnál rövidebb keringési periódusú, Jupiternél kisebb tömegű bolygót alig ismerünk, annak ellenére, hogy a forró

jupiterek „csak úgy hemzsegnek” ezen a tartományon. A tranzitos exobolygók tömegét a keringési periódus függvényében ábrázolva egy jól körülhatárolt üres tartomány, a „kis Jupiter-sivatag” (sub-Jupiter desert; az elnevezés Jupiternél kisebb tömegű forró jupiterek és Neptunusz-nál nagyobb méretű forró neptunuszokat takarja) rajzolódik ki, amely éles ellenében áll a három napnál hosszabb periódusok esetén megfigyelt eloszlással, és külön magyarázatot igényel. A jelenségre korábbi vizsgálatok is utaltak, de mostanra gyűlt össze annyi megfigyelés, amelyek alapján egzakt statisztikai módszerekkel kijelenthető, hogy a „lyuk” magában az eloszlásban van benne, és nem



7. ábra. A kis Jupiter-sivatag a tranzitos bolygók (vörös pontok) és a radiálissebesség-módszerrel detektált bolygók (szürke pontok) eloszlásában

a véletlen adateloszlás tréfájának áldozatai vagyunk (7. ábra). Ráadásul a bolygók eloszlása a csillagok körül erősen sűrűségfüggő is. Lényegében úgy tűnik, hogy a kisebb sűrűségű és kisebb tömegű exobolygókat kitalítja a csillag közeléből egy olyan folyamat, amely nem hat a kicsit nagyobb sűrűségű forró jupiterekre és a nagy sűrűségű, de kis tömegű szuperföldekre sem.

Létezik egy egyre inkább elterjedő, bonyolultabb bolygókeletkezési modell, amely az eloszlást megmagyarázza – és fordítva, az eloszlás a modellt megerősítheti. A lényeges lépés, hogy a kis jupiterek már a bolygókeletkezési korai szakaszában, a protoplanetáris korong evaporációjának időszakában kitalítja a korong árapályhatása (pontosabban a korong belső peremének árapálycsapdázása, amely ekkor kifelé vándorol) a csillagok közvetlen közeléből, miközben a nagy tömegű bolygókra ez a folyamat nem hat.

A távoli bolygók holdjainak felfedezése különösen izgalmas lenne, hiszen saját Naprendszerünkben is számos példát

látunk arra, hogy milyen egzotikus világok rejtkezhetnek egy-egy bolygó körül. A Jupiter Io nevű holdján aktív vulkáni tevékenység figyelhető meg, egyes holdak felszíne alatt vízből, vagy metánból álló „óceánok” léte feltételezhető. Földünk Holdja első ránézésre nem ennyire különleges, de nagyon fontos szerepe van bolygónk forgástengelyének stabilizálásában, így az élet kialakulásában és fennmaradásában is.

Budapesti csoportunk – a Szegei Tudományegyetem csillagász csoportjával (Szatmáry Károly) együtt – exoholdak detektálásának lehetőségét is vizsgálta. Ötletünk a már említett tranzitmódszerre épül, és lényegében a kísézőnek a bolygó

fénygörbéjében jelentkező, kitért fénytöbbletén alapul. A bolygóátvonulások során felvett fénygörbékben annál nagyobb arányú a fényességsökkenés (és annál jobban vizsgálható rajtuk a holdak hatása), minél nagyobb a fedést okozó planéta. A feltételek alapján úgy tűnik, hogy a Szaturnuszhoz hasonló, alacsony átlagsűrűségű óriásbolygók kísézőinek kimutatására nyíltat először esély. Célzott megfigyelési kampányokkal, amelyek a jövő űrkutatásának lehetséges fejlődési irányai, akár a Holdhoz hasonló, vagy kisebb szatelliták felfedezésére is lehetőség nyílik. Egy ilyen felfedezésnek asztrofizikai fontosságán túl asztrobiológiai potenciálja miatt is óriási jelentősége lenne. ☾

*A magyar kutatócsoportot az OTKA K-83790, a MAG Zrt. HUMAN MB08C 81013 és az MTA Lendület pályázata támogatja.*

## Irodalom

- Gaudi B. S., Winn J. N., *Astrophysical Journal* **655**, 550, 2007  
 Szabó M. Gy., Szabó R., Benkő J. és mtsai, *Astrophysical Journal Letters* **736**, L4, 2011  
 Szabó M. Gy., Pál A., Derekas A. és mtsai, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **421**, 122, 2012  
 Doyle L. R., Carter J. A., Fabrycky, D. C és mtsai, *Science* **333**, 1602, 2011  
 Szabó M. Gy., Kiss L. L., *Astrophysical Journal* **727**, 44, 2011  
 Magyar Kepler-csoport honlapja: <http://www.konkoly.hu/KIK>