

Exobolygók a kert végéből

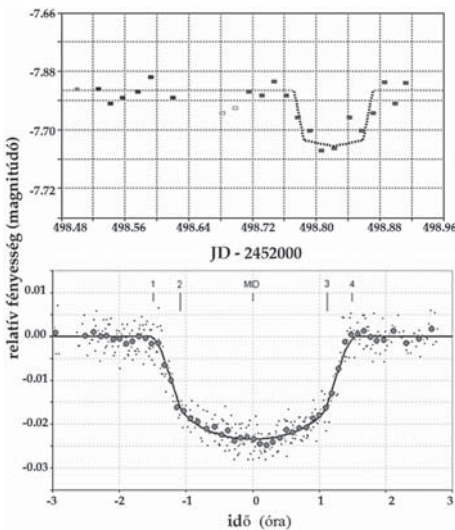
Az alábbiakban egy kissé rendhagyó írást közlünk: nem az idegen világok hagyományos értelemben vett „lencsevégre kapásáról” lesz szó – arra jelenleg csak a legnagyobb távcsövek képesek, adaptív optikákkal. Mégis, közvetve ugyan, de megfigyelhetők ezek a távoli planéták. Ennek módja azonban nem kizárólag a változócsillag szakcsoport hatásköre – bár gyakorlatilag fedési kettősökről van szó, csak éppen bolygó másodkomponenssel. A fotometria a változások eszköze, de a pontos fényességmérést szolgáltató CCD (vagy épp digitális fényképezőgép!) az asztrofotós kelléktárában is megtalálható, így most a szigorúan vett képkalkotáson kissé túlmutató tevékenységről lesz szó.

Sokan talán azt gondolják, hogy a Naprendszeren kívüli bolygók messze kívül esnek az amatőr csillagászat hatáskörén. Nos, valóban, fizikailag a saját kis kertünk kerítésén messze túl találhatóak az exobolygók – de ez minden

csillagászati objektumra igaz. S ha az ismert Univerzum peremvidékén lévő kvazárokat képesek amatőr távcsövek fotózni, akkor miért ne próbálkozhatnánk meg más világok bolygóival? A talán sokakat elbátoraltató probléma abban rejlik, hogy itt nem elég néhány felvételt készíteni, s azokat összeadván megnövelni a határfényességet, vagy összehasonlítván a képeket megfigyelni egy égitest elmozdulását. A távoli csillagok előtt elvonuló planéták okozta fedések kimutatásához több órányi folyamatos fotometriai megfigyelésre van szükség: többszáz CCD-felvétel készítésére, amiket aztán nagy pontossággal kell kiértékelni. A feladat amatőr eszközökkel is elvégezhető a fényesebb csillagok esetében, és ezt több amatőrtársunk a világban ma már rendszeres tevékenységként végzi. Sőt, hamarosan talán a hivatásos csillagászok számítani is fognak ezekre a mérésekre! Miért? Ennek megválaszolásához nézzük meg kicsit közelebbről a tranzitmegfigyelések mikéntjét, s pillantásunk bele kicsit a bolygóadászat jövőjébe!

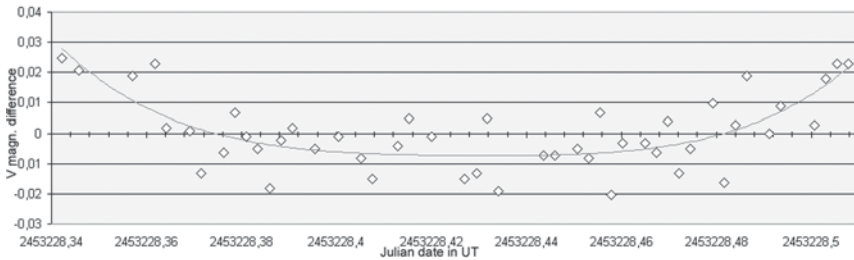
Talán nem kell megingodolni, miért is olyan izgalmas más csillagok bolygóinak megfigyelése a saját műszerünkkel. Lehetséges, hogy ezekről a világokról hamarosan kiderül, élet hordozására alkalmasak. Ennek az emberiség egészét érintő kérdésnek a megválaszolása ugyan még a jövő zenéje, de az ehhez vezető első lépéseket most tesszük meg. Márpedig ebbe bekapcsolódnunk, vagy csak belekóstolni pár óra erejéig!... Akinek ez nem izgalmas, az úgysem olvassa a Meteort.

Azt viszont talán annál többeknek kell mondani: igen, mindez amatőr eszközökkel is lehetséges! És kis gyakorlással, nem is akármilyen minőségben. Ennek ékes példaként álljon itt egy fénygörbe-pár, amely Bruce Gary amatőr csillagász technikájának rohamos fejlődését illusztrálva mutatja meg, mit is tudunk elérni a kert végéből. Bruce legelső exobolygó-mérését még 2002-ben végez-



Bruce Gary 2002-es (fent) és 2006-os exobolygó mérései. Előbbi a HD 209458, míg utóbbi az XO-1 fénygörbéje, 28 illetve 35 cm-es távcsövekkel

Exoplanet transit over HD 209458. 20:12 - 00:11 UT 10 August 2004.



Kereszty Zsolt CCD fotometriai méréssorozata a HD 209458 bolygójának átvonulásáról

te egy 25 cm-es távcsővel, melyek ugyan mutatják a HD 209458 fedését, de a fénygörbe paraméterei eléggé bizonytalanok. Ezzel szemben alig négy évvel később végzett mérése az XO-1 bolygójáról már meglepően pontos kontaktus-időpontok kimérését is lehetővé teszi, holott a használt műszer ezúttal is csak egy 35 cm-es Schmidt-Cassegrain volt. (Utóbbi grafikon esetében a pöttyök az egyedi méréseket, a nagyobb körök néhány fényességérték átlagolását mutatják, s a teljes adatsor két egymást követő fedést ölel át.)

Bruce Gary nem csak aktív észlelő, de tapasztalatait össze is foglalta, igen részletesen, egy könyv formájában. Az „Exoplanet Observing for Amateurs” (Exobolygó-megfigyelés amatőröknek) első kiadása ingyenesen letölthető az internetről, míg a kibővített kiadás megvásárolható, akár az egyre terjedő digitális olvasóablák formátumában is. Egy tömörebb verzió html formában szintén elérhető, mindez a http://brucegary.net/book_EOA/x.htm oldalon. Annak, aki tud angolul és érdekli a téma, nagyon tudom ajánlani ezek elolvasását, ugyanis Bruce nagyon jó útmutatást ad az észlelés hogyanjáról és mikéntjéről. Akit a 170 oldalas PDF megijeszt és egy kissé rövidebb, tömörebb formában szeretné elsajátítani mindezt, annak a szintén a Bruce által létrehozott következő weblapot ajánlom: <http://brucegary.net/TransitSystematics/transitsystematics.htm>

Szép példaért nem is kell a szomszédba mennünk! Kereszty Zsolt tagtársunk már beszámolt hasonló jellegű és minőségű megfigyeléseiről a változós rovat hasábjain, a Meteor 2004 szeptemberi számában. Hon-

lapján pedig (<http://kereszty.csillagaszat.hu/photom/photom.htm>) nemcsak a már korábban bemutatott HD 209458, hanem a TrES-1 bolygója okozta fedési fénygörbe is megtalálható, valamint további (sajnos negatív) megfigyelések a HD 37605 és a 70 Vir esetében. A használt műszer itt sem elérhetetlenül nagy apertúrájú: egy 35 cm-es SC és SBIG ST-7E CCD kamera, valamint egy fotometriai V szűrő. És hogy ezek az eredmények nem csak szívet melengetőek, de hasznosak is tudnak lenni, azt mi sem mutatja jobban, mint pl. Kereszty Zsolt neve néhány rangos nemzetközi folyóiratban megjelent cikk szerzőlistájában (JAAVSO, Vol. 34, No. 1). A Polaris Csillagvizsgálóban 2006 óta folyik exobolygó-átvonulások megfigyelése Nagy Zoltán Antal, Balogh Emese, majd Tordai Tamás és Kárpáti Ádám közreműködésével (l. a jelen számunk 8. oldalán bemutatott fénygörbét).

Az ismert exobolygó-rendszerekből a világháló segítségével viszonylag egyszerűen tallózzhatunk, s találhatjuk meg a műszerünknek s az adott időpontnak megfelelő célpontot. Az egyik „hivatalos” katalógusként a <http://exoplanet.eu/catalog.php> oldalt tekintik sokan, azonban számunkra az egyik legjobb kiindulási pont mégis inkább a <http://var2.astro.cz/EN/tresca/transits.php> weblap. Itt rákereshetünk adott objektumokról amatőrök által készített mérésekre, vagy megtekinthetjük egy megfigyelő műszerezettségét és az azokkal készített méréseket. A HAT-P-13b-re keresve egyelőre egy mérés fénygörbéje jelenik meg, amire kattintva rengeteg hasznos információhoz jutunk. Először is

Exoplanet: HAT-P-13 b
Observer: Brian Tieman
Post address: 1722 Highland Place
E-mail: blieman@mchsi.com
Station: polfo
Observing location: Elongitude: 272° | Latitude: 41°
Equipment: CPC1100, 46.3 FR, Wedge, OAG, OSIS20L R
Used filter: U B V R I Clear
Notes: Used C4 as reference star. 90s exposures. Binned 1x1.
Observation already published:

Residuals (mag - fit)
 $S = 2.3 \text{ mmag}$, $\rho_0 = 0.62 \text{ data/min}$, $\text{DO} = 3$

Airmass curve

JD mid: 2455199.86312 +/- 0.00123
HJD mid: 2455199.868 +/- 0.00123 (helcor = 0.00488)
Mid transit - UT: 2010-01-03 08:42:53
Duration: 190.9 +/- 4.2 minut
Depth: 0.0099 +/- 0.0007 mag

JD mid: 2455199.86312 +/- 0.00123
HJD mid: 2455199.868 +/- 0.00123 (helcor = 0.00488)
Mid transit - UT: 2010-01-03 08:42:53
Duration: 190.9 +/- 4.2 minut
Depth: 0.0099 +/- 0.0007 mag

Finding chart / reference CCD frame:

Show transit in ETD.

Derived system geometry

Catalogue data	Measured data	Sun & Jupiter scale, 1+90°
$R_p: 1.28 \pm 0.079 R_{Jup}$	1.451 ± 0.058 R_{Jup}	
$R^*: 1.56 \pm 0.08 R_{Sun}$	fixed, errors included in I	
$A: 0.0426 \pm 0.0012 \text{ AU}$	fixed, errors included in I	
$P_{orb}: 2.91626 \text{ days}$	fixed	
$i: 83.4 \pm 0.6^\circ$	83.05 ± 0.25 $1.45^\circ \pm 0.27$ 1.41°	

Catalogue geometry

Measured geometry

EXPLANATORY NOTES and PICTURE LEGEND

A Cseh Csillagászati Társaság által üzemeltetett TRESCA exobolygó adatbázis igen sok hasznos információt kínál, példaként a HAT-P-13b egy méréséhez tartozó adatokat mutatjuk be

megjelenik a megfigyelő neve, műszereinek felsorolása, és e-mail címe. Vagyis ha szükségét érezzük tanácsnak, segítségnek, akkor azonnal tudunk hova fordulni. Az említett példánál maradva megtudhatjuk, hogy Brian Tieman egy 28 cm-es Celestron SC-t használt QSI512 CCD-kamerával és R szűrővel, 90 másodperces expozíciókkal. Tovább halad-

va az oldalon megtaláljuk a fénygörbét, a mérés pontosságát mutató grafikonnal, majd a meghatározott fedési közép-időpontot. Ezt követi az egyik, újdonsült exobolygó-észlelőként leghasznosabb rész: egy CCD-felvétel, amelyen azonosíthatjuk az objektumot és a használt összehasonlító csillagokat. Ezt követi a bolygórendszer sematikus ábrája a

mostani és az eddigi összes mérés alapján.

A CCD-kép alatti „Show Transit in ETD” hivatkozást követve az Exoplanet Transit Database (Exobolygó fedési adatbázis) oldalon megtaláljuk az adott rendszer főbb paramétereit (koordináták, fényesség, fényességcsökkenés mértéke és időtartama stb.), valamint ezek mellett az eddigi mérésekből kirajzolódó O–C diagramot. Ez a változócsillagászatban gyakran használt és fontos ábra azt mutatja, hogy a fedés középidejének előrejelzett és valódi bekövetkezése között mekkora a különbség. A vízszintestől való lassan lejtő vagy emelkedő lineáris eltérés a periódus pontatlanságára utal, vagyis ha méréseinkkel efféle elcsúszást mutatunk ki, akkor hozzájárulhatunk a bolygó keringési idejének pontosításához. A nem lineáris O–C diagram viszont nagyon izgalmas lehet, ez ugyanis arra utalna, hogy az adott csillag körül több bolygó kering! Az efféle fedési időzítés-változás (transit timing variation, TTV) sokszor az egyetlen mód további, eltérő pályahajlásuk miatt fedést nem mutató bolygók kimutatására (a több méteres távcsöveket igénylő spektroszkópiai módszer mellett). A fedés hosszát és mélységét is érdemes az idő függvényében, hosszú távon ábrázolni, a külső perturbáló hatások (másik bolygó) miatt ugyanis változhatnak a pályaelemek, azaz a megfigyelt fedés tulajdonságai is.

Azt, hogy mikor várható a kiválasztott objektum fedése, a <http://transitsearch.org> honlapról tudhatjuk meg. Itt a „Candidates” hivatkozást követve olyan oldalhoz jutunk, ahol az ismert bolygók legközelebbi fedésének időpontjait is megtudhatjuk.

A legtöbb bolygófedés mindössze pár százalékos fényességcsökkenést eredményez, vagyis néhány századmagnitúdóról beszélünk. A detektáláshoz tehát legalább 0,01 magnitúdó pontosság kell, míg az időpontok méréséhez ezt is meghaladó, 0,005 magnitúdó vagy az alatti precizitás szükséges. Ezt elérni pedig nem könnyű feladat!

Ajánlott a 25 cm-es vagy nagyobb átmérőjű teleszkóp, és egy CCD-kamera, valamint mindenképpen szerezzünk be egy fotometriai szűrőt (V vagy R). Erre azért van szükség,

hogy méréseinket egy szűk hullámhossztartományra korlátozzuk, s ezáltal több zavaró hatást kiküszöböljünk, méréseinket pontosítsuk. Digitális fényképezőgépek használata nem ideális az érzékelővel egybeépített RGB színszűrőmátrix miatt. Bár meg lehet vele próbálkozni, hiszen mint láthattuk nemrég Csák Balázs cikkében (Meteor, 2008/12.), ezek az eszközök is használhatóak változó fényű objektumok kiméréséhez.

Csák Balázs az említett cikkben a képek feldolgozását az IRAF programmal végezte, ami nagyon finoman hangolható és automatizálható, azonban csak linux operációs rendszer alatt fut (esetleg Windows alatt, a cygwin környezetben), és elsajátítása talán nagyobb erőfeszítést igényel, mint más programoké – különösen a telepítést tekintve... Tagtársunk azonban két cikket is írt erről a szakcsillagászok által használt ingyenes programcsomagról, melyeket a Meteor 2001. januári és októberi számaiban találhat meg az elszánt exobolygóvadász amatőr. De melegen ajánljuk az IRIS Windowsos programot, melyet Christian Buil fejleszt folyamatosan, s mely szintén ingyenesen érhető el a <http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm> oldalon. Csák Balázs 2008-as DSLR fotometriás cikkében az IRIS fotometriai használatát is bemutatja, amit jól kiegészít Lázár József cikke: Bevezetés az IRIS képfeldolgozó program használatába (http://www.mcse.hu/tavcsoves_sarok/20070224_iris.html).

Természetesen angol nyelvű írásokból is bőségesen válogathat az érdeklődő. Az Amerikai Változócsillag-észlelők Társasága, az AAVSO honlapján külön oldalt találunk, amit a tranzitmegfigyeléseknek szenteltek (<http://www.aavso.org/observing/programs/ccd/transitsearch.shtml>). Innen kiindulva hasznos lehet ellátogatni a CCD alapismerteket áttekintő oldalra (http://www.aavso.org/observing/programs/ccd/manual/CCD_Manual_2010.pdf), avagy a fotometria módszerét bemutató lapokra (<http://www.aavso.org/observing/programs/ccd/manual/4.shtml#1>).

Fűrész Gábor