

Exobolygó átvonulás fénygörbe szimulációja táblázatkezelővel

dr. Hudoba György

Óbudai Egyetem, Alba Regia Egyetemi Kar, Székesfehérvár
hudoba.gyorgy@amk.uni-obuda.hu

Kulcsszavak: Excel, exobolygó, fénygörbe, exoplanet, light curve, transit, simulation

Kivonat— Napjaink aktuális kutatási témája a Naprendszeren kívüli, ún. exobolygók keresése, melyből jelen sorok írásakor már több, mint két ezret találtak. Ezek többségét a csillag fényességének változásának analizisével fedezték fel. A sötét bolygónak a csillagkorong előtt való elhaladása következtében fellépő fényességváltozás számos paraméter függvénye. A fénygörbe szimulációját a jóval kifinomultabb eszközök, mint Matlab, Wolfram Mathematica, ... stb. nélkül is, a mindenki által könnyen elérhető táblázatkezelővel is egész jól meg tudjuk valósítani.

Abstract— Searching for exoplanets is a hot topic of astronomical research. At the moment of writing more than two thousand exoplanets were registered. Most of them was discovered by analyzing the stellar light curve analysis, by the so called occultation, or transit method. When the dark planet moves in front of the bright stellar disc, the brightness of the star diminishes a little bit. The shape of the light curve, which depends on many parameters, does not need sophisticated programs, like Matlab, Wolfram Mathematica or something like these, but can be simulated by a simple spreadsheet, like Excel.

1 BEVEZETÉS

A Naprendszeren kívüli bolygók, vagy elterjedt néven exobolygók keresésnek számos módszere létezik, melyeket alapvetően két nagy csoportba, a direkt, illetve az indirekt módszerekébe sorolhatunk. A direkt módszerekkel alig egy néhány speciális esetben sikerült pozitív eredményt elérni. A felfedezések gyakorlatilag az indirekt módszerek segítségével történtek, amikor is a vizsgált csillagok valamilyen mérhető tulajdonságának változásából következ-

tetünk a bolygószerű kísérő vagy kísérők létezésére. A használható indirekt módszerek: asztrometria (a csillag pozíciójában megjelenő változások elemzése), fotometria (a csillag fényességében mutatózó változások) illetve a spektroszkópiai módszer, azaz a csillag színképvonalainak Doppler eltolódásának vizsgálata. A ma ismert exobolygók túlnyomó részét a fotometriai módszer szolgáltatta.

2 A FOTOMETRIAI SZIMULÁCIÓ

Amennyiben egy bolygó elhalad a csillaga előtt, a csillag fényessége a kitakart rész fényességével csökken. A szimulációban feltesszük, hogy a csillag és a bolygó gömb alakú, a bolygókorong teljesen sötét, és amennyiben lenne is légköre, annak az észlelt fényesség-változásra vonatkozóan nincs hatása. Feltesszük továbbá, hogy a bolygó a csillag méreténél lényegesen nagyobb távolságban halad át, így a pályája csillag előtti szakasza egyenesnek tekinthető. Ha pl. a Nap-Föld viszonyokat célozzuk meg, a Nap 1,4 millió km átmérője és a Nap-Föld távolság 150 millió km-es értékét tekintve a feltétel kiválóan teljesül. (Ha a bolygó csak néhányszorosa csillag-átmérőnyire halad át, akkor, ha nem a pályasíkban vagyunk, a pálya növekvő inklináció-szögével a bolygókorong útja ívelté válik.)

A szimulációs program alap gondolata és működése a következő: egy „négyzet alakú” cellatartományba generálunk egy csillagkorongot, azaz minden cellába beírjuk a csillag adott területének felületi fényességét, majd a csillag előtt elhaladó bolygó által kitakart rész fényességét kivonjuk a csillag összfényességéből, az eredményt pedig grafikusán ábrázoljuk. A funkciók megvalósításához makrókat használunk.

Megjegyzendő, hogy a grafikon a bolygó csillagkorong előtti pozíciójához viszonyított fényességváltozást ábrázolja, míg a valódi mérés során a fényesség időbeli változását tudjuk mérni. Azonban ha a bolygó átvonulási sebességét egyenletesnek vehetjük, ami a legtöbb esetben megtehető, az idő-fényesség és a pozíció-fényesség grafikon jól megfelel egymásnak.

A valóságban fénygörbe előállításának érdekében tudni kell, hogy a csillagkorong felületi fényessége középtől a perem fele haladva fokozatosan csökken. Ez az úgynevezett szél- vagy peremsötétedés. A szélsötétedés (amely ráadásul még a hullámhossztól is függ) leírására számos csillaglégkör modell létezik. Céljainkra tökéletesen megfelel az alábbi egyszerű, a Nap esetében 550 nm-re vonatkozóan a tapasztalattal jól megegyező fényességeloszlást leíró formula [1]:

$$I(\psi) = [1 - 0,47(1 - \cos \psi) - 0,23(1 - \cos \psi)^2] I_0$$

ahol I_0 a korong közepének fényessége (vagyis a maximális fényesség), ψ pedig a középponttól mért szög.

3 A PROGRAM MŰKÖDÉSE

A program indítása előtt a megfelelő cellákba be kell állítani néhány paramétert, nevezetesen a csillag sugarát, a bolygó sugarát, valamint a bolygó középpontjának a csillag középpontjától mért átvonulási magasságát. (A bolygó sugarának maximális értéke a csillag sugara, minimális értéke 0, ami egy pixelnyi bolygóméretet jelöl.)

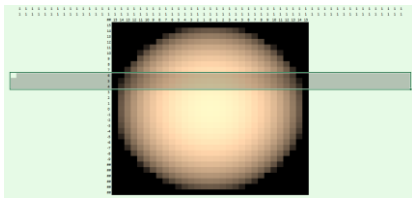
Az érdekesség kedvéért a szélsötétedés figyelembe vétele kikapcsolható, és így tanulmányozható, milyen különbséget okozna ez a fénygörbében. (A kapcsoló változtatása után a csillagot újra kell generálni!)

Az „Arányos” kapcsoló „1” értékénél az 1-re normált fényességgörbét rajzoljuk ki, míg a kikapcsolt értéke, vagyis „0” esetén a fényességváltozást kinagyítva látjuk.

A harmadik kapcsoló segítségével véletlenszerű zajt tudunk a görbére ültetni, ami még valóság hűbbé teszi a görbét.

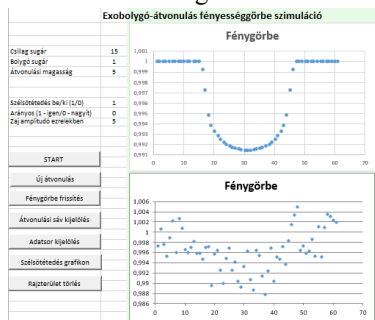
A fentiek szerint beállítások elvégzése után futtathatjuk a makrókat (A harmadik oszloptól kezdődően a cellaméreteket lehetőleg négyzetesre állítottuk, hogy a látvány majd minél jobban hasonlítson egy korongra.) Első lépésben tehát a „Start” gomb megnyomásával egy „négyzet alakú” cellatartományba egy csillagkorongot generálunk. (A további gombok működtetéséhez szükséges változók is ekkor kapnak értéket.) A korongot alkotó minden egyes cella háttérét a fényességgel arányosan kiszínezzük, valamint az adott cellába beírjuk annak fényességét a saját háttér színével, hogy ne legyen zavaró.

A csillagot tartalmazó négyzet bal oldalsó és felső peremére a könnyebb tájékozódás érdekében felírjuk a középtől való távolságot, valamint a csillag 1-re normált összfényességével kitöltjük a még feljebb látható két sort. A felsőt majd a kiszámított, az alsót pedig a zajjal terhelt fényességek számára. Ez után a bolygót csillagsugár távolságról balról elindítjuk, és a bolygókorong közepe feletti fényességet tartalmazó cellába beírjuk a korong kitakarásával csökkentett fényességet, majd felrajzoljuk a grafikont.

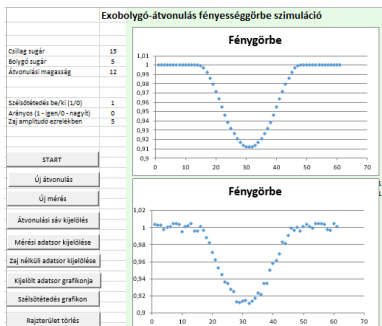


1. ábra A bolygó áthaladási sávját a kijelölt cellák jelzik.

Tanulságos a különböző méretű és különböző helyeken árhaladó bolygó fedési fényességgörbéinek előállítására és összehasonlítására. A korábbiak szerint a grafikon kirajzolásához megadható, hogy az abszolút fényességáramyokat szeretnénk-e látni, vagy csak a fényesség változását. Mivel a valódi mérések mindig mérési hiba, zaj terheli, a korábbiakban említettek szerint lehetőség van a mérési bizonytalanságnak megfelelő zaj hozzáadásához is. Az „Új mérés” gomb minden egyes megnyomása egy másként zajosított görbét generál a korábban kiszámított értékekből. A zaj amplitúdó is változtatható, nem szükséges új átvonulást generálni, csak ha korábbiakban említett első négy paraméter valamelyikén változtattunk. Az így kapott adatsor fordított irányban is használható, az adatok alapján megpróbálhatunk visszakövetkeztetni a csillagfedés paramétereire. Mégül a tanulság kedvéért ismét megemlítjük, hogy a szélsőtétedés kikapcsolható – ekkor újra kell generálni a csillagot – ami által szembeötlővé válik a fénygörbékben mutatkozó különbség.

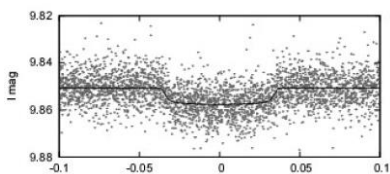


2. ábra Az ábrán látható a program paraméterezése, és a különféle funkciókhoz tartozó indító gombok. A felső görbe a számított, az alsón a zajjal terhelt fényességváltozás látható.



3. ábra Egy nagyobb bolygó elhaladása a csillag pereme közelében, más alakú fénygörbét produkál.

Az összehasonlítás kedvéért a 4. ábrán egy valódi exobolygó sok átvonulásából összeállított, kumulatív mérési adatait és az abból kiértékelt fedési fénygörbét mutatunk be. A függőleges tengelyen a csillagászatban használatos magnitúdó skála szerepel. (A magnitúdó skála a fény intenzitásának logaritmusával arányos. Egy magnitúdó különbség 2,5-szeres fényességkülönbségnek felel meg.)



4. ábra Egy valódi mérési eredmény, a HAT-P-7b fedési görbéje [2]

IRODALOM

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Limb_darkening
[2] <http://hatnet.org>