

Szegedi Tudományegyetem TTIK

Kísérleti Fizikai Tanszék

SZAKDOLGOZAT

Fedési kettőscsillagok fotometriája

Készítette: Hatala Kornél

Fizika BSc szakos hallgató

Témavezető: Dr. Székely Péter

egyetemi adjunktus

SZTE TTIK, Kísérleti Fizikai Tanszék

Szeged

2013

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Elméleti összefoglalás	4
2.1. A változócsillagok	4
2.2. Nevezéktan	6
2.3. Felosztás	6
2.3.1. Pulzáló változók	7
2.3.2. Rotáló változók	7
2.3.3. Eruptív változók	8
2.3.4. Kataklimikus változók	8
2.3.5. Fedési változók	8
2.4. A fedési változók fénygörbéi	13
2.5. A keringési periódus változása	15
3. A DWARF projekt	17
4. Használt műszerek	19
5. Észlelések	21
6. A mérési eredmények feldolgozása	22
6.1. Az alapkorrekciók	22
6.2. A képek összetolása	24
6.3. A heliocentrikus Julián-dátum beírása a <i>.fit</i> fájlba	24
6.4. A differenciális apertúra fotometria	24
6.5. A fotometrálás menete	25
7. Fénygörbék	27
7.1. MR Del	28
7.2. NSVS 01031772	30
7.3. NSVS 14256825	31
7.4. BX Tri	33
7.5. OT Lyr	36
8. Összefoglalás	37
9. Köszönetnyilvánítás	38

10.Függelék	42
11.Nyilatkozat	43

1. Bevezetés

Szakedolgozatomban felhasználtam a 2012-es nyári szakmai gyakorlat méréseit, amelyeket közösen végeztünk Balog Bertalannal és Mitnyan Tiborral, valamint önálló munkám eredményeit. Távcsoves megfigyeléseimet két helyszínen végeztem: a Szegedi Csillagvizsgálóban és az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézetében Piskéscsillagvizsgálóban. Szegeden és Piskéscsillagvizsgálóban is egy 40 cm-es távcsovel mértem fedési kettőscsillagok fényességváltozásait. A fotometria, azaz a fényességmérés elvégzéséhez az IRAF csillagászati képfeldolgozó programcsomagot használtam. Részt vettem a DWARF projektben, amely exobolygókat keres a fényidő-effektussal. Mérési eredményeimet feltöltöttem az adatbázisukba. Céloom lehetőleg minél több változócsillag minimumidőpontjainak kimérése és az adatok feldolgozása volt.

Szakedolgozatom egy rövid elméleti áttekintéssel kezdődik a változócsillagokról, majd az általam is vizsgált fedési kettőscsillagokról. Ezután ismertetem néhány szóban a DWARF projektet, majd a mérésekről, az adatok feldolgozásáról írok. Végül bemutatom méréseim eredményeit, a fénygörbéket.

2. Elméleti összefoglalás

2.1. A változócsillagok

Az égitesteket látszólagos fényességük alapján először egy görög csillagász, Hiparkhosz (Kr. e. 190-120) osztályozta. Elkészítette az első csillagkatalógust, amely 1000 csillag pozícióját és fényességét tartalmazta. A szabad szemmel látható legfényesebb objektumokat elsőrendűeknek, míg a leghalványabbakat hatodrendűeknek nevezte. Innen származik a ma használt logaritmikus magnitúdóskála. A megfigyelések során mérhető látszólagos fényesség:

$$m = -2,5 \cdot \log F + k \quad (1)$$

ahol F a mért fluxus, k egy hullámhossztól függő konstans.

Hiparkhosz tiszteletére a magnitúdóskála egy inverz skála, azaz minél fényesebb egy égitest, annál kisebb a magnitúdóban mért fényesség értéke. A távcsövek megjelenése és fejlődése akár 30 magnitúdós objektumok észlelését is lehetővé tette.

A csillagászok már az ókorban is felfigyeltek arra, hogy egyes csillagok fényessége időben nem állandó. Ezt megelőzően hosszú ideig Arisztotelész (Kr. e. 384-322) világrépé volt általánosan elfogadott. Ő két részre osztotta fel a világot: Hold feletti és Hold alatti világra. Állítása szerint csak a Hold alatti világban megengedett bármilyen változás. Kínai csillagászok 1054-es feljegyzéseikben egy új, addig nem látszó „vendégcsillagról” számoltak be. Megjelenésekor az nappal is látható volt, majd nagyjából egy év alatt fokozatosan elhalványult és végül eltűnt. A jelenség egy szupernóva-robbanás volt, a helyén ma a Rák-köd figyelhető meg. Tycho Brahe (1546-1601) 1572-ben ismét felfedezett egy szupernóvét a Cassiopeia csillagképben, amelyet Nova Stella-nak nevezett el és nyomon követte annak elhalványulását. A megfigyeltek miatt belátták, hogy a csillagok szférájában is vannak változások és elvetették az arisztotelészi dogmákat.

Ma már tudjuk, hogy valójában minden csillagnak a fejlődése során időben változik nem csak a fényessége, hanem egyéb fizikai paraméterei is. Ezek például a tömeg, sugár, felszíni hőmérséklet, luminozitás, kor, kémiai összetétel, spektrális jellemzők, mágneses mező, forgási periódus, csillagfoltok. Az egyszerűség kedvéért az emberi időskálán mérhető intenzitásváltozást produkáló csillagokat nevezzük változócsillagoknak. A Nap fényessége is kismértékben, de folyamatosan változik a 11 éves naptevékenységi ciklus során.

Ha változócsillagokról van szó és külön nem hangsúlyozzuk, mely fizikai paraméter változására gondolunk, akkor a csillag fényességét tekintjük időben változónak. Vizsgálatuk kiemelten fontos, mert azzal számos tulajdonságuk megbecsülhető: a csillagok

távolsága, tömege, sugara, belső szerkezete, hőmérséklete, fénykibocsátása. A fényesség változása a Kepler űrtávcső által jelenleg mérhető 0,00001 magnitúdótól a szupernóváknál tapasztalható 20 magnitúdóig terjed.

Az első periodikus változócsillagot 1596-ban fedezték fel. A jelenséget akkor még nem tudták megmagyarázni, ezért nevezték csak egyszerűen Mirának, vagyis csodálatos csillagnak. Ma már tudjuk, hogy ezek radiálisan pulzáló vörös óriás és szuperóriás csillagok, amelyek fényességváltozása legalább 2,5 magnitúdó, periódusuk hozzávetőleg 1 év.

1844-ben még csak 30 változócsillagot ismertek. A változócsillagok katalógusa, a GCVS¹ – General Catalogue of Variable Stars – 1948-ban 10820 csillagot tartalmazott, 1985-ben 28435-öt. Ma több százezret ismerünk a nagy égboltfelmérő programoknak köszönhetően. A nagy számosság miatt a hivatásos csillagászok nem tudnak ennyi objektumot folyamatosan megfigyelni, ezért nagy szerepe van az amatőr csillagászok munkájának. Az általuk végzett észlelések koordinálására, valamint az adatok összegyűjtése és feldolgozása miatt hozták létre 1911-ben a Változócsillag-Észlelők Amerikai Társaságát (AAVSO² – American Association of Variable Star Observers).

Napjainkban számos változócsillag-katalógus létezik, amelyek saját elnevezéseket használnak. [47] Ezek közül néhány:

- **NSV xxxxx**: Catalog of New and Suspected Variable Stars (Új és Feltételezett Változócsillagok Katalógusa).
- **HVxxxxx**: a Harvard obszervatóriumban felfedezett változók átmeneti jelölése.
- **Mis Vxxxx**: a MISAO Projekt Variable stars objektumai.
- **ASAS hhmmss+ddmm.m**: All Sky Automated Survey program.
- **FSVS Jhhmm+ddmm**: Faint Sky Variability Survey által felfedezett objektumok.
- **SDSSp Jhhmmss.ss+ddmmss.s**: a Sloan Digital Sky Survey által felfedezett objektumok.

¹<http://www.sai.msu.su/gevs/gevs/>

²<http://www.aavso.org/>

2.2. Nevezéktan

A változócsillagok elnevezésével a moszkvai Lomonoszov Egyetem Sternberg Csillagászati Intézetben foglalkoznak. Ha egy korábban már Bayer-jelöléssel ellátott csillagot változónak találnak, akkor azt már nem nevezik át. Egyébként egy csillagképben az első változót R, majd S, T, U, V, W, X, Y és Z betűkkel jelölik. Ehhez még hozzátartozik a csillagkép genitívusza, vagy hárombetűs rövidítése: Z Andromedae vagy Z And. Ez mindössze 9 változót enged meg csillagképenként, amiről hamar kiderült, hogy kevés. Ezután betűpárokat kezdtek alkalmazni az angol ABC betűit használva. Így az R-től indulva: RR, ..., RZ, SS, ..., SZ, ..., ZZ módon további 45 lehetőséget kapunk. Ez sem volt elegendő, ezért használják a teljes angol abc-t, kivéve a J-t, mert az könnyen összekeverhető az I-vel. Itt mindig az abc-ben szereplő előbbi betű kell, hogy az első helyre kerüljön, vagyis ZA nincs, csak AZ. Ezzel is csak összesen 334 nevet tudtak biztosítani, ezért az egyszerűség kedvéért a továbbiakban a változócsillagokat V után írt számmal jelölik, pl.: V335. Ezt a jelölést Friedrich Wilhelm Argelander vezette be.

Egy másik azonosítási mód, ha megadjuk a változócsillag Harvard-számát (Harvard Designation). Vizsgáljuk meg például a Z UMa csillagot. HD-száma: 1151+58. Ezt a csillag 1900-as epochára vonatkozó pozíciójának kerekített értékéből kapjuk meg: R.A.=11h 51m és a Dec=+58°. Ha egy Harvard-számra több változócsillag is jut, akkor a Harvard-számhoz A, B, C, ... betűket teszünk: 1544+28A.

Az AAVSO-ban használt katalógusszám AAA-XXX-AAA formátumú, ahol A helyére számot, X helyére betűt kell írni. Ezzel 17,5 milliárd csillag jelölésére van lehetőség a rendszerben.

Ha egy csillagról kezdetben nem tudják eldönteni, hogy az változó-e, akkor az NSV jelölést és egy sorszámot kap: NSV600. A szupernóvák neve az SN betűkből, a felfedezés évéből, valamint egy betűjelzésből áll: SN 2006bp. [12]

2.3. Felosztás

A változócsillagok osztályozása több szempont alapján történhet, hiszen a fényesség időbeli változásait számos tényező okozhatja. Ez lehet valamilyen belső esemény, vagy külső hatás:

- **extrinsic** (külső hatás)
- **intrinsic** (belső hatás)

A változócsillagok 5 nagy csoportja:

- **Pulzáló változócsillagok** (intrinsic)
- **Rotáló változócsillagok** (extrinsic)
- **Eruptív változócsillagok** (intrinsic)
- **Kataklimikus változócsillagok** (intrinsic)
- **Fedési változócsillagok** (extrinsic)

Én fedési kettőscsillagok mérésével foglalkoztam.

2.3.1. Pulzáló változók

Ezen csillagok felszíni rétegei periodikusan összehúzódnak és kitágulnak. Megkülönböztetünk radiális vagy sugárirányú és nemradiális pulzációt. Az előbbinél a csillag rétegei csak sugárirányban, az utóbbinál pedig horizontálisan is elmozdulnak. Ha megváltozik a csillag mérete, hőmérséklete, akkor megváltozik annak luminozitása és fényessége is.

A pulzációt leggyakrabban a κ -effektus tartja fenn. Az instabilitási sávban levő csillagok felső rétegeiben található H és HeII ionizációs zóna opacitása, vagyis átlátszatlansága már a hőmérséklet kicsi emelkedésével is megnő. Ennek hatására emelkedni fog a sugárnyomás, a csillag pedig kitágul. A tágulás miatt fordított folyamat indul meg: csökken a hőmérséklet, opacitás, sugárnyomás, a csillag összehúzódik, majd ismét tágulás következik.

A jóval ritkább ϵ -effektus esetén a csillag magjának összehúzódása növeli a csillag energiatermelését, hőmérsékletét, ami a csillag kitágulását okozza. Ekkor a csillag lehül, magja összehúzódik, majd kezdődik az egész előlről.

Ide tartoznak a mira, cefeida, RR Lyrae, δ Scuti, RV Tauri, α Cygni, ZZ Ceti, stb. alosztályok. [18]

2.3.2. Rotáló változók

Ezeknél a fényváltozás oka a csillag tengely körüli forgása. Legnagyobb csoportjuknál, a rotáló változóknál a fényesség megváltozása a csillag fotoszférájában található, a forgás következtében csak időnként látható foltok miatt történik. Gyakran kettős rendszerek tagjai.

A pulzárak erős mágneses térrel rendelkező, gyorsan forgó neutroncsillagok. A pulzálás akkor lép fel, ha a mágneses tengely nem esik egybe a forgástengellyel. A mágneses tengely mentén történő erős sugárzást a forgás miatt csak időnként látjuk: ilyenkor mondjuk, hogy felvillant a pulzár.

A rotáló változókhoz tartoznak: a foltos csillagok, ellipszoidális változók, mágneses változók, pulzárak. [19]

2.3.3. Eruptív változók

Szabálytalan fényváltozásait a csillag felső légkörében kialakuló heves folyamatok okozzák. Leggyakrabban fiatal csillagoknál tapasztalhatóak és anyagkifúvás jellemző rájuk.

Ide tartoznak az R Coronae Borealis, T Tauri, FU Orionis és a flercsillag alosztályok. [21]

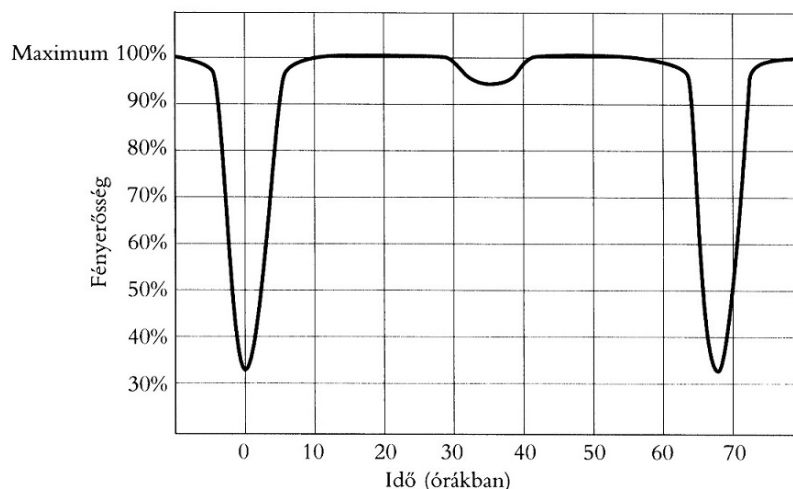
2.3.4. Kataklimikus változók

Hasonlítanak az eruptív változókhoz: egyszeri vagy többszörös kitöréseket produkálnak, de náluk sokkal több energia szabadul fel. A változás oka az, hogy termonukleáris robbanások történnek a csillag felszínén vagy belsejében, illetve egy társcsillagról történő anyagátáramlásban ingadozások lépnek fel. A kollapszár szupernóvák kivételével kölcsönható kettőscsillagok.

Ide tartoznak a nóvák, szupernóvák, törpenóvák, polárok, átmeneti polárok és a szimbiotikus kettőscsillagok. [22]

2.3.5. Fedési változók

Az első fedési változócsillagot, az Algolt Geminio Montanari fedezte fel 1667-ben. John Goodricke 1782 novembere és 1783 májusa között részletesen tanulmányozta az Algol fényességváltozását. A pillanatnyi fényesség leolvasásához a változót a körülötte látható, korábbi vizsgálatok alapján állandó fényességűnek tekintett csillagokkal hasonlította össze. Megfigyeléseiből fénygörbét készített és rájött, hogy az Algol fényességének minimuma periodikusan 68 óra 50 percenként következik be. [20],[27]

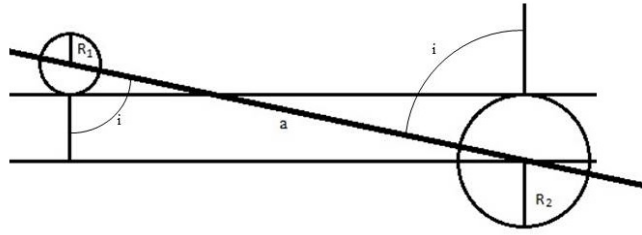


1. ábra. Az Algol fényességváltozása. [27]

Goodricke azt állította, hogy a tapasztalt fényességváltozás nem egy csillagtól, hanem kettőtől: egy úgynevezett kettőscsillagtól ered. Magyarázata szerint a változás valójában egy fogyatkozási jelenség. A rendszert alkotó két csillag közül az egyik lényegesen halványabb, mint a másik, és amikor az egyik komponens tőlünk nézve elvonul a másik előtt, akkor a rendszer összfényessége lecsökken. Goodricke ekkor még mindössze tizennyolc éves volt, és tökéletes magyarázatot adott megfigyeléseire. Munkáját Copley-éremmel díjazták.

Elméletét Hermann Carl Vogel-nek sikerült bebizonyítania 1889-ben az Algol színkép-vonalainak periodikus változásai alapján.

Ma már tudjuk, hogy a csillagok többsége nem magányos, hanem kettős vagy többes rendszereket képeznek és azok egyes komponensei a rendszer közös tömegközéppontja körül keringenek. Egy kettőscsillagot akkor tekintünk fedési kettőscsillagnak, ha annak keringési síkjához megfelelően közel esik a megfigyelő, vagyis a Föld és emiatt periodikusan az egyik komponens eltakarja a másikat. Ilyenkor részleges vagy teljes fedés következik be és ez idő alatt a rendszer összfényessége lecsökken. Ha fényesebb komponens kerül takarásba, akkor főminimumról, ellenkező esetben mellékminimumról beszélünk. A keringési időtől függően a fedések közötti idő néhány perc és több év között változik. A fedési kettőscsillagok a változócsillagok extrinsic csoportjába sorolhatóak, ugyanis az egyes csillagok fénykibocsátása nem változik számottevően, csak a rendszer összfényessége. Az ilyen kettős (és többes) rendszereket azok tőlünk mért hatalmas távolsága miatt optikai képalkotásnál leggyakrabban egy pontszerű magányos csillagnak látjuk.



2. ábra. A fedés létrejöttének feltétele.

Az ábra alapján a következő geometriai feltétel teljesülése esetén jön létre a fedés:

$$R_1 + R_2 \geq a \cdot \cos i \quad (2)$$

ahol R_1 és R_2 a csillagok sugarai, a a pálya fél nagytengelye, i pedig a keringési sík és a látóirányra merőleges közötti szög.

Felosztásuk két szempont alapján történhet:

1. Fénygörbe szerint:

- **Algol** (EA)
- β **Lyrae** (EB)
- **W Ursae Maioris** (EW)

2. A komponensek Roche-térfogatainak kitöltöttsége alapján:

- **Érintkező** (Contact)
- **Félig érintkező** (SemiDetached)
- **Elkülönülő** (Detached)

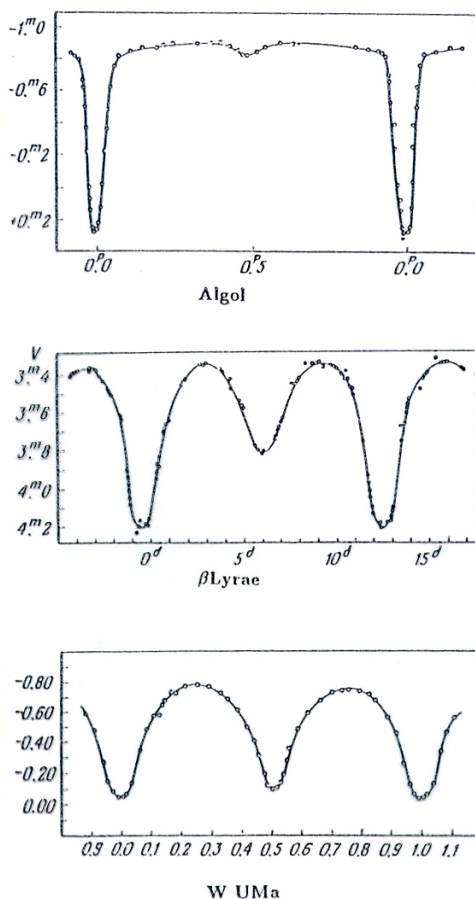
Az Algol: ez a leghosszabb ideje ismert fedési kettőscsillag. Fénygörbájükön szépen látható a fő- és mellékminimumok kezdete, közepe és vége. A főminimum több magnitúdós is lehet, a mellékminimum általában néhány tized magnitúdós, esetenként nem is észlelhető. A minimumok közötti szakasz állandó fényességű (ha nem lép fel reflexiós effektus). A komponensek gömb, esetleg enyhén lapult alakúak, egyik sokkal fényesebb a másiknál. Keringési periódusuk 0,2–10000 nap közötti.

Elsőként az elkülönülő Algolnál figyelték meg a róla elnevezett Algol-paradoxont: a kisebb tömegű komponens a fejlettebb, annak ellenére, hogy a nagyobb tömegű csillagok fejlődése a gyorsabb. A jelenség magyarázata az, hogy a kezdetben nagyobb tömegű

komponens gyorsabb fejlődése miatt felfúvódik, anyagának egy része átáramlik a másik komponensre és ezzel megfordul a tömegarány.

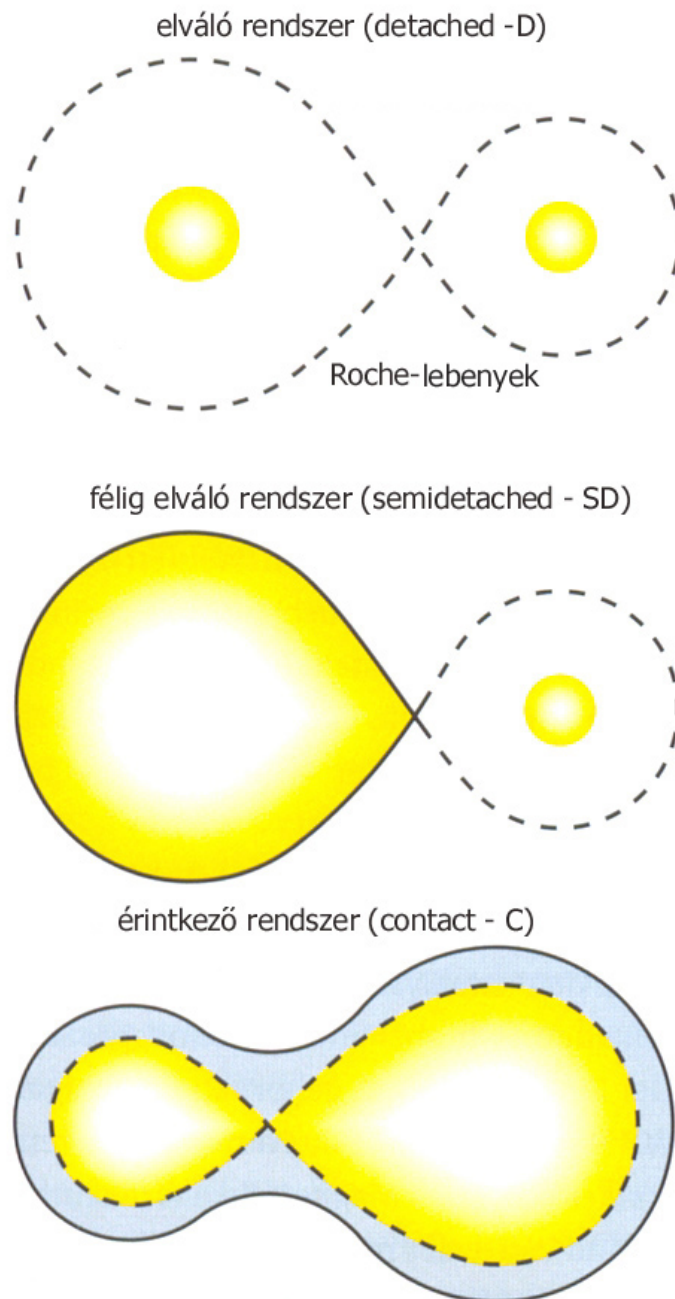
β Lyrae: fénygörbéjükön nem határozható meg egyértelműen a minimumok kezdete és vége, ugyanis a rendszer összfényessége folyamatosan változik. A fő- és mindig látható mellékminimum jól megkülönböztethető. Komponenseik eltorzult ellipszoid alakúak. Periódusuk több mint egy nap, amplitúdójuk legfeljebb 2 magnitúdó.

W Ursae Maioris: a β Lyrae-hoz hasonlóan állandóan változik az összfényességük. A fő- és mellékminimumok mélysége közel azonos. Komponenseik ellipszoid alakúak, majdnem érintik egymást. Periódusuk legfeljebb egy nap, amplitúdójuk kevesebb, mint 0,8 magnitúdó. [12]



3. ábra. Az Algol, β Lyrae és W UMa fénygörbéje. [61]

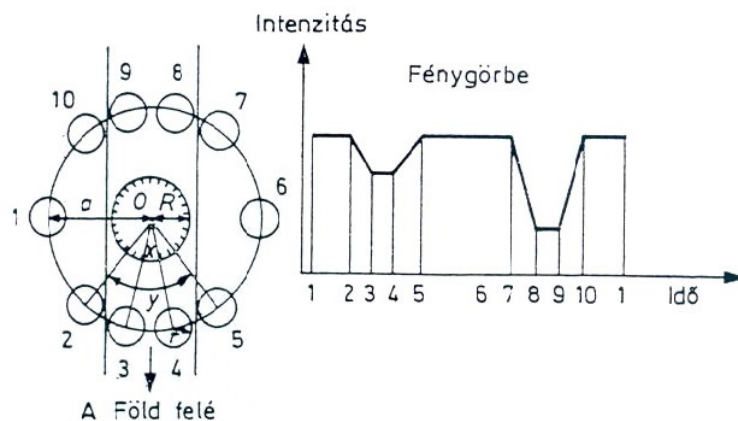
A Roche-térfogat a gravitációsán kötött két (vagy több) testből álló rendszer belső (L1) Lagrange pontjához tartozó gravitációs ekvipotenciális felületek által határolt térrész. Kettőscsillagoknál ezen térfogatok kitöltöttsége alapján különböztetjük meg az érintkező, félig érintkező és elkülönülő rendszereket.



4. ábra. Fedési kettőscsillagok osztályozása a komponensek Roche-térfogatainak kitöltöttsége alapján. [49]

2.4. A fedési változók fénygörbéi

Tekintsünk két egyenlő sugarú, pontosan gömb alakú, azonos fényességeloszlású csillagot, amelyek körpályán keringenek a közös tömegközéppontjuk körül, továbbá tegyük fel, hogy a pályájukra pontosan $i = 90^\circ$ -os szögben látunk rá. Ilyen idealizált esetben a rendszer látszólagos összfényessége állandó és maximális addig, amíg nem történik fedés. Amennyiben a kisebb felületi fényességű komponens tőlünk nézve eltakarja a nagyobb felületi fényességűt, a rendszer összfényessége lecsökken és ezt nevezzük főminimumnak. Fordított esetben, amikor az összfényesség kevésbé csökken le, mellékminimumról beszélünk. Ha a két minimum azonos mélységű, a két csillag felületi fényessége egyenlő.



5. ábra. Egy fedési változócsillag idealizált fénygörbéje. [24]

A fénygörbe alakját befolyásoló tényezők:

- **Pálya excentricitása**
- **Szélsötétedés**
- **Reflexiós effektus**
- **A komponensek alakdeformációja**
- **Tömegcsere a komponensek között**
- **Az apszisvonal vándorlása**

A valós, mért fénygörbék gyakorlatilag mindig eltérnek az ábrán látható ideális esettől. Azokon különböző torzulások jelentkeznek, amelyekből további információkhoz juthatunk a vizsgált rendszerről. Bizonyos esetben a mellékminimumok nem a főminimumok között „középen”, hanem valamire eltolódva helyezkednek el. Ilyenkor a komponensek ellipszispályán keringenek és a mellékminimum főminimumhoz viszonyított fázisát az ellipszispálya nagytengelyének iránya határozza meg. Az egyes minimumok időtartamát a rendszer geometriája határozza meg. Ha a fedés részleges, akkor nincs a minimumoknak állandó fényességű szakasza. Szoros kettőscsillagok fényessége folyamatosan változik, mert a komponensek alakjának deformációja miatt a keringésük során mindig eltérő nagyságú felületét látjuk a csillagoknak. Az Algolnál például gyakran látszik, hogy a fedéseken kívül sincs a fénygörbének konstans szakasza. Ez azért van, mert a csillagok egymást megvilágítják és emiatt a szomszédos oldalaik forróbbak lesznek (reflexió). A csillag fotoszférájában a hőmérséklet felfelé haladva csökken. A csillagkorong közepén mélyebbre látunk, ezért azt magasabb hőmérsékletűnek észleljük (szélsötétedés). [24]

Az ábra alapján az r és R sugarak:

$$r = \frac{v}{2} \cdot (t_3 - t_2) \quad (3)$$

és

$$R = \frac{v}{2} \cdot (t_4 - t_2) = r + \frac{v}{2} \cdot (t_4 - t_3) \quad (4)$$

ahol $v = v_r + v_R$ a két csillag relatív sebessége.

(3) és (4) alapján a rendszert alkotó két csillag sugarainak aránya:

$$\frac{r}{R} = \frac{t_3 - t_2}{t_4 - t_2} \quad (5)$$

Ha spektroszkópiai mérést is végeztünk a rendszeren, akkor a sugarak pontosan meghatározhatóak a Doppler-effektus segítségével. Az ábra alapján:

$$\sin \frac{x}{2} \approx \frac{R - r}{a} \quad (6)$$

és

$$\sin \frac{y}{2} \approx \frac{R + r}{a} \quad (7)$$

Ha körpályáról van szó, x -re és y -ra felírható, hogy:

$$\frac{x}{2\pi} = \frac{t_4 - t_3}{P} \quad (8)$$

és

$$\frac{y}{2\pi} = \frac{t_5 - t_2}{P} \quad (9)$$

ahol P az r sugarú csillag keringési periódusa.

A színek alapján a Doppler-effektus

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = -\frac{v_r}{c} \quad (10)$$

képletéből kiszámolható az r sugarú csillag v_r kerületi sebessége. Az a pályasugár a következő összefüggésből határozható meg:

$$2\pi \cdot a = v_r \cdot P \quad (11)$$

A (11)-ből nyert a -t, a (8)-ből x -t és (9)-ből y -t (6)-ba és (7)-be behelyettesítve kiszámolható R és r értéke. [24]

Felírható a két csillag hőmérsékleteinek aránya a fő- és mellékminimum arányából. [33] A Stefan-Boltzmann törvény alapján egy abszolút fekete test sugárzásának teljes energiasűrűsége:

$$j = \sigma \cdot T^4 \quad (12)$$

ahol $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$ a Stefan-Boltzmann-állandó, T a sugárzó test abszolút hőmérséklete.

Feltehetjük, hogy a csillag jó közelítéssel abszolút fekete testként sugároz és érvényes rá a (12) egyenlet, továbbá az észlelt fluxus a csillagkorong felületén egyenletesen oszlik el. Ha nincs fedés, az általunk látott két komponens összfényessége:

$$B_0 = k \cdot (\pi R^2 j_R + \pi r^2 j_r) \quad (13)$$

ahol k a vizsgált objektum távolságától és a detektor tulajdonságaitól függő konstans. A fő- és mellékminimumkor tapasztalható fényesség:

$$B_f = k\pi R^2 j_R \quad (14)$$

és

$$B_m = k \cdot (\pi R^2 - \pi r^2) \cdot j_R + k\pi r^2 j_r \quad (15)$$

Mivel k értékét nem tudjuk megmérni, ezért a minimumok mélységéből csak a hőmérsékletek arányát írhatjuk fel:

$$\frac{B_0 - B_f}{B_0 - B_m} = \left(\frac{T_r}{T_R}\right)^4 \quad (16)$$

2.5. A keringési periódus változása

Gyakran tapasztalható, hogy változik a csillagok periódusideje. Ennek lehetséges magyarázatait két csoportba oszthatjuk [35]:

1. Látszólagos periódusváltozás okai:

Ha készítettünk a fénygörbe periodicitásának vizsgálatához O-C diagramot és az hosszú ciklusú, szinuszos függvénnyel közelíthető, akkor a lehetséges magyarázat:

- Apszisvonal vándorlás
- Fényidő-effektus (LITE)

2. Valódi periódusváltozás okai:

- Az Algol rendszereknél gyakran jelentkező mágneses aktivitási ciklus
- Mágneses fékeződés következtében létrejövő tömeg- és impulzusmomentum változás
- Tömegátadás a komponensek között
- Tömegeloszlás átrendeződése a komponensekben
- A rendszer tömegvesztése

3. A DWARF projekt

A DWARF projekt egy nemzetközi kutatási program, amelyben jelenleg a világ 4 kontinensének 18 országából 39 obszervatórium vesz részt, köztük Magyarországról a Szegedi Csillagvizsgáló is. A programhoz bárki csatlakozhat, aki rendelkezik a mérendő objektumok vizsgálatára alkalmas felszereléssel. [2]

Méréseimet a DWARF projekt számára végeztem. A program célja exobolygók keresése a fényidő-effektus segítségével. Ehhez lehetőleg minél több mérés elvégzése szükséges, hogy azokból O–C diagram elkészítésével kimutatható legyen a rendszerben egy vagy több esetlegesen jelenlévő exobolygó.

Az O–C diagramot úgy kapjuk meg, ha a változócsillag fényességminimumának az észlelt időpontjából egy feltételezett periódussal számolt időpontot kivonva kapott értéket ábrázoljuk a ciklusszám függvényében. Amennyiben a számolásnál használt periódusérték helyes, az ábrázolt pontok nulla körül szórnak. Hibás periódussal számolva a pontok egy pozitív vagy negatív meredekségű egyenes mentén helyezkednek el. Ha a pontthalmazra egy magasabb fokú függvény illeszthető, akkor a vizsgált rendszer periódusváltozása folyamatos, amelynek valós fizikai okai vannak. Ilyenkor az egyik lehetőség az ún. fényidő-effektus. Ez akkor lép fel, ha a kettős rendszer körül egy vagy több további komponens, mondjuk exobolygó kering és az azok kettőscsillagra gyakorolt gravitációs hatása miatt tapasztaljuk a periódusidő folyamatos Doppler-eltolódását. Elviekben a módszer alkalmas lehet exoholdak felfedezésére is.

A kettőscsillagok körül keringő exobolygókat két csoportba sorolhatjuk:

- **S-típus:** csak az egyik csillag körül keringő exobolygó, periódusa sokkal rövidebb a kettőscsillag keringési periódusától.
- **P-típus:** ezt nevezik még cirkumbináris exobolygónak is, mert ebben az esetben mindkét csillag körül kering a bolygó, periódusa sokkal hosszabb a kettőscsillag periódusidejétől.

A DWARF projekt kis tömegű kettőscsillagok körül keres cirkumbináris exobolygókat és/vagy barna törpéket. Kimutatásukhoz a fényidő-effektust használja, bár ezen kívül még detektálhatóak radiális sebesség meghatározásával, valamint pontos fotometriai mérésekkel, amennyiben a bolygó látszólag elhalad a kettőscsillag előtt. A The Extrasolar Planets Encyclopaedia³ 2013. december 6-án 15 fényidő-effektussal felfedezett exobolygót tartalmazott 12 bolygórendszerben.

³<http://exoplanet.eu/catalog/>

A program hatékonysága érdekében a lehetséges mérendő objektumok kiválasztásakor számos paraméterre ügyeltek. Olyan kettőscsillagokat választottak, amelyek mély és éles minimummal rendelkeznek.

A mérhető kettősök az alábbi három csoportba sorolhatóak:

- K és/vagy M színképosztályú törpecsillagokból álló rendszerek
- Forró szubtörpét és K vagy M színképtípusú törpecsillagot tartalmazó rendszerek
- Fehér törpéket tartalmazó rendszerek

Periódusuk 5 napnál rövidebb, fényességük 10 és 17 magnitúdó közötti, ezért már kisebb, 20–200 cm-es távcsővel és egy alsó kategóriás CCD-vel mérhetőek. Az a legfontosabb, hogy a résztvevők minél több minimumidőpontot mérjenek ki a lehető legnagyobb pontossággal. A projekt elméletileg lehetővé teszi minimum Jupiter-tömegű, néhány éves keringési periódusú exobolygók felfedezését.

4. Használt műszerek

Optika	
Optikai elrendezés	Newton
Főtükör átmérője	40 cm
Fókusz távolság	1392 mm
Fényerő	f/3,48
Mechanika	
Szerelés	villás ekvatoriális
Pozicionálás	léptetőmotoros RA, DEC
Detektor, szűrők	
Kamera	ST-7 Dual CCD Camera
CCD Chips	Kodak KAF-0402ME + TI TC-237
Pixelszám	765 x 510 (RA x DEC)
Pixelméret	9 x 9 μm
Látómező	17' \times 11'
Felbontás	1,33"/pixel
Szűrők	Johnson UBVR _c I _c

1. táblázat. A Szegedi Csillagvizsgáló távcsövének adatai.

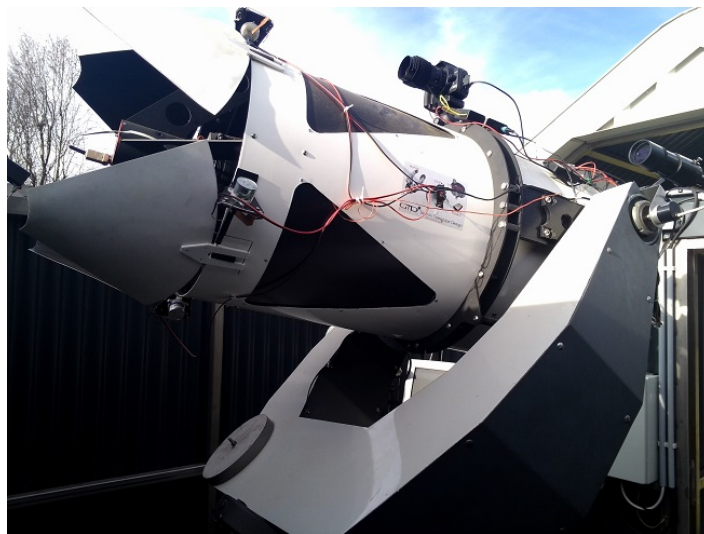


6. ábra. A szegedi 40 cm-es távcső. [48]

Optika	
Optikai elrendezés	Ritchey-Crétien
Főtükör átmérője	40 cm
Fókusz távolság	2400 mm
Fényerő	f/6
Mechanika	
Szerelés	villás ekvatoriális
Pozicionálás	léptetőmotoros RA, DEC
Detektor, szűrők	
Kamera	FLI ML8300
Pixelszám	3326 x 2504 (RA x DEC)
Pixelméret	5,4 x 5,4 μm
Látómező	25,7' \times 19,3'
Felbontás	0,46"/pixel
Szűrők	Bessell B, V, R, I

2. táblázat. A piszkéstetői 40 cm-es távcső adatai.

Piszkéstetőn egy vagy kettő perces expozícióval mértem. Szegeden a technikai feltételek miatt a vezetés legfeljebb fél perces expozíciókra volt alkalmas. Emiatt a megszokottnál fényesebb objektumokat lehetett vizsgálni.



7. ábra. A piszkéstetői 40 cm-es távcső.

5. Észlelések

Év/Hónap/Nap	Objektum	RA [h m s]	Dec[° ' ”]	Bias	Dark	Flat	Obj.
2012/08/09	NSVS 01031772	13 45 34.9	+79 23 48	11	11	0	175
2012/08/13	NSVS 01031772	13 45 34.9	+79 23 48	11	11	11	158
2012/08/14	NSVS 14256825	20 20 00.4	+04 37 56	11	11	0	96
2012/08/15	NSVS 14256825	20 20 00.4	+04 37 56	11	22	11	181
2013/10/25	BX Tri	02 09 29.8	+28 32 29.4	11	11	0	273
2013/10/26	BX Tri	02 09 29.8	+28 32 29.4	11	11	11	364
2013/10/27	BX Tri	02 09 29.8	+28 32 29.4	11	11	0	113
Összesen				77	88	33	1360

3. táblázat. Mérések Piskéztetőn.

Év/Hónap/Nap	Objektum	RA [h m s]	Dec[° ' ”]	Bias	Dark	Flat	Obj.
2012/08/06	OT Lyr	19 08 10.0	+29 13 42	10	5	5	180
2012/08/21	MR Del	20 31 13.5	+05 13 08	3	6	3	650
2012/09/01	MR Del	20 31 13.5	+05 13 08	11	11	0	450
2012/09/02	MR Del	20 31 13.5	+05 13 08	11	11	0	450
2013/10/03	BX Tri	02 09 29.8	+28 32 29.4	11	11	7	254
2013/10/04	BX Tri	02 09 29.8	+28 32 29.4	11	11	0	412
2013/11/07	BX Tri	02 09 29.8	+28 32 29.4	11	11	0	321
Összesen:				68	66	15	2717

4. táblázat. Mérések Szegeden.

Piskéztető + Szeged: 145 bias, 154 dark, 48 flat és 4077 objektumkép.

A méréseket V szűrőben végeztem, kivéve a BX Tri esetében, ahol szűrő nélkül mértem.

6. A mérési eredmények feldolgozása

6.1. Az alapkorrekciók

A mérések során készült nyers képeken alapkorrekciókat kell végrehajtani, ugyanis azok még alkalmatlanok a pontos fénygörbék előállításához. Ehhez a **NOAO** – National Optical Astronomy Observatory – által kifejlesztett **IRAF** – Image Reduction and Analysis Facility⁴ – nevű programcsomagot használtam.

Bias-korrekció: minden CCD pixel kiolvasásakor a kapott intenzitásérték tartalmazza a kamera alapzaját is additív jellegűen, amely az alapszintből (bias) és egy másik, az idővel lineárisan növekvő sötétáram tagból áll. Az alapszint lényegében az egyes pixelekbe beragadt elektronok és a kiolvasó elektronika zajának a következménye. A bias képek 0 s expozíciós idővel készülnek. Célszerű több ilyen kép készítése, amelyeket átlagolva le kell vonni a dark, flat és objektum képekből. Általában elegendő az éjszaka során egy ilyen sorozatot készíteni, ugyanis ennyi idő alatt nem változik jelentősen az alapszint értéke.

A *noao.imred.ccdred.zerocombine* taszkkal állítható elő egy átlagolt bias kép.

Dark-korrekció: az alapszinthez hasonló additív hiba. Az expozíciós idővel ugyan nagyjából lineárisan változik, mégis javasolt minden méréskor az objektumképekkel megegyező expozíciós idővel, csukott shutter-ral darkokat készíteni. A CCD chip hőmérséklete 0 K-től különbözik, azaz annak molekulái hőmozgást végeznek, amely következtében további elektronok gyűlnek fel a pixelekben. A termikus fluktuációk miatt fellépő elektronok száma a hőmérséklettel exponenciálisan nő. Fontos, hogy a dark képek készítésekor a kamera már le legyen hűtve, és a mérés során ne változzon a hőmérséklete. Az általam használt távcsövekben a hűtés Peltier-elemmel volt megoldva, de a nagyobb obszervatóriumokban folyékony nitrogénnel akár -180° C-ra hűtött kamerák sötétárama gyakorlatilag teljesen eltűnik.

A dark képek átlagolása a *noao.imred.ccdred.darkcombine* nevű taszkkal történik.

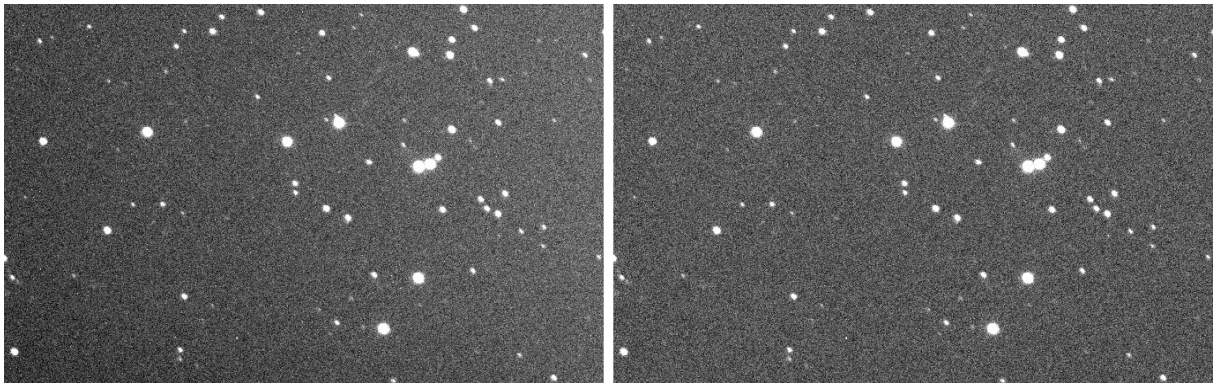
Flat-korrekció: a nyers CCD képeken gyakran furcsa struktúrákat lehet felfedezni, ugyanis az egyes pixelek kvantumhatásfoka, azaz érzékenysége különböző. Emellett fellép az optikai elemeken található porszemek és egyéb apró lerakódott szennyeződések fényszórása és fényelnyelése. A jelenség következtében egy homogén felületről készített

⁴<http://iraf.noao.edu/>

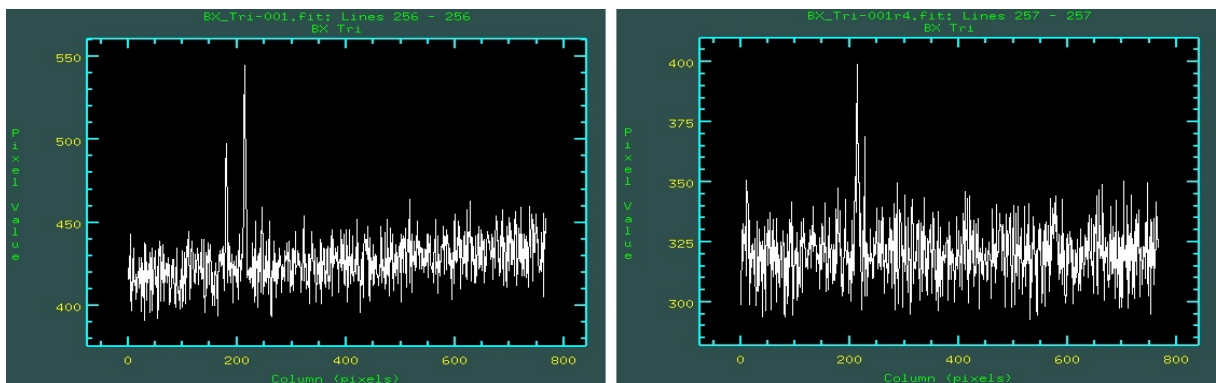
kép inhomogén lesz. Bár a távcső flatstruktúrája nem változik gyorsan, mégis célszerű minél gyakrabban, akár minden éjszaka flatképek készítése. Ezeknek két fő típusa létezik: sky és dome flat. Az előbbit napnyugtakor, vagy napkeltekor, a csillagmentes, egyenletes fényességű égboltról kell készíteni. Amennyiben csillagok tűnnek fel a képen, akkor vagy az óragépet kell kikapcsolni, vagy minden elkészült flat kép után kicsit el kell mozdítani a távcsövet. Én mindig sky flat képeket készítettem. A dome flat a kupolában felállított homogén, kivilágított fehér felületről, vagy a kupoláról készül. Célszerű figyelni a beütésszámra, hogy az 30000 körül legyen, és az expozíciós időt legalább 10 s-nak választani, továbbá minden használt szűrőhöz külön kell készíteni fleteket.

A képeket a *noao.imred.ccdred.flatcombine* nevű taszkkal lehet összeátlagolni.

Az elkészült „master” bias, dark és flat képekkel végrehajtható a korrekció az objektum képeken a *noao.imred.ccdred.ccdproc* taszkkal.



8. ábra. Egy kép a korrekciók előtt és után.



9. ábra. Megfigyelhető egy sormetszeten, hogy a korrekciók elvégzése után eltűnik a pixelek intenzitásértékeiben a trend, csökken a háttér szórása, valamint intenzitása.

6.2. A képek összetolása

A Föld forgása miatt a csillagok látszó helyzete időben változik az égen. A távcsöveknek ezt követniük kell, ezért óragépekkel szerelik fel őket. Ezek működése sajnos nem tökéletes. Ha hosszú ideig exponáltam, akkor a csillagok kicsit elmozdultak a képeken. Ez különösen megfigyelhető volt a Szegedi Csillagvizsgálóban az épület megsüllyedése miatt. A fotometria elvégzéséhez a mért csillagnak minden képen azonos helyen célszerű lennie. Ezért a képeket össze kell tolni az *images.immatch.xregister* taszkkal. Ehhez először meg kell adni egy referenciaképet. A program ehhez illeszti az összes többi képet. Szegeden a rossz vezetés miatt előfordult, hogy a mérés közben el kellett mozdítani a távcsövet, különben a célpont kimozdult volna a látómezőből. Az ilyen nagy ugrások gyakran megzavarták az xregistert. A mellékelt 1. számú script segítségével a *.fit* kiterjesztésű képeket átkonvertáltam *.jpeg* kiterjesztésűekre, így azokat könnyedén tudtam nézegetni, tanulmányozni, továbbá a rossz, felhős, defókuszált képeket kidobáltam. Megfigyeltem, hogy az xregister az elmozdítást követően készült képeket nem az általam megadott referenciaképhez képest toltta el, de azokon is azonos helyen szerepelt a változócsillagom. Ezért az egyes ilyen csoportokról készítettem egy listát, és azokat külön kifotometráltam, majd végül az összes csoport adatait egy grafikonon ábrázoltam.

6.3. A heliocentrikus Julián-dátum beírása a *.fit* fájllokba

A DWARF projekt Julián-dátumban megadva kéri az adatok feltöltését, de a fénygörbén célszerű heliocentrikus Julián-dátumban megjeleníteni az időt. Ennek oka a fényidő-effektus. A Föld folyamatosan elmozdul a Nap körüli keringése során, ezenkívül a fényforrás is mozoghat látóirányban. Ezért a Föld és a megfigyelt objektum közötti távolság folyamatosan változik, vagyis a csillagról érkező fény eltérő idő alatt ér hozzánk. Amennyiben ezt nem korrigáljuk, a mérésünkben egy moduláció fog fellépni. [46]

A heliocentrikus Julián-dátum beírásához a *noao.astutil.setjd* taszkot használtam. A program megfelelő működése érdekében mindig pontosan a kép fejlécében található kifejezéseket kell megadni!

6.4. A differenciális apertúra fotometria

A fotometria, azaz fényességmérés feladata a csillagok fényességének pontos meghatározása. [38] A földi megfigyelő egy vizsgált objektum elektromágneses sugárzásának fluxusát tudja megmérni. Ez nem más, mint az egységnyi felületen egységnyi idő alatt áthaladó teljes energiamennyiség. A fényességmérés során megszámloljuk, hogy egy

másodperc alatt hány foton érkezik a vizsgált objektumról, megmérjük azok energiáját, majd kiszámoljuk a fluxust. Ha ismerjük a mért objektum távolságát, akkor a fluxusból meghatározható annak luminozitása és számos egyéb fizikai paramétere.

Méréseim feldolgozásakor differenciális apertúra fotometriát végeztem. Ilyenkor a vizsgált csillag köré négyzetes pixelek esetén egy kör alakú mintavételező alakzatot, apertúrát helyez a képfeldolgozáshoz használt program. A következő lépésben össze kell adni ezen apertúrán belül elhelyezkedő pixelek intenzitásértékeit:

$$F_{összes} = \sum_i I_i \quad (17)$$

Ahhoz, hogy megkapjuk a beérkező fotonok számával arányos intenzitásértéket, az előbb kapott fluxusból le kell vonni a háttér intenzitását. Ehhez egy további gyűrűt kell felvenni a csillag körül a háttér fényességének mintavételezéséhez és az ottani pixelek intenzitását ki kell vonni az $F_{összes}$ -ből:

$$F = F_{összes} - N \langle B \rangle = \sum_i I_i - N \langle B \rangle \quad (18)$$

ahol N a külső apertúra pixeleinek száma, $\langle B \rangle$ az égi háttér átlagos értéke. Végül (18) logaritmusából a csillag instrumentális fényessége:

$$m_i = -2,5 \cdot \log F = -2,5 \cdot \log \left(\sum_i I_i - N \langle B \rangle \right) \quad (19)$$

Ügyelni kell az apertúrák méretének megválasztására. Ha túl nagyra választjuk a belső kör sugarát, akkor a kapott intenzitásérték jelentős részét a háttér és a kozmikus sugarak képezik, ennek eredménye pedig rossz jel/zaj viszony lesz. Ajánlott a csillagprofil félértékszélességével megegyező sugarú apertúrát használni.

A változócsillagon kívül a fenti módszerrel minden képen kimértem még egy állandó fényességű összehasonlító- és ellenőrzőcsillag fényességét is. A változócsillag fényességéből kivontam az összehasonlító fényességét, ellenőrzésképp pedig az összehasonlítóból az ellenőrző fényességét. Az így kapott fényességértékekből állítottam elő a fénygörbéket.

6.5. A fotometrázás menete

Az eddig elkészült korrigált, heliocentrikus Julián-dátummal ellátott képek már alkalmasak a fotometrázás elvégzéséhez. A **DS9**⁵ program segítségével megtekinthetőek a *.fit* kiterjesztésű képek. Az IRAF *imexamine* taszkjával elmentettem a vizsgált, az összehasonlító, valamint az ellenőrző csillag koordinátáit. Ehhez a DS9-ben megnyitott képen

⁵<http://hea-www.harvard.edu/RD/ds9/>

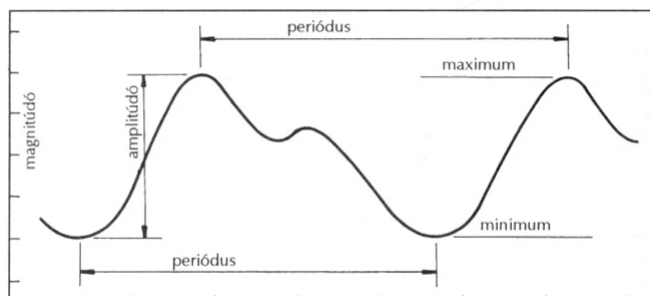
az előbbi csillagok fölé vittem az egeret, majd leütöttem a ',' billentyűt. Ha elkészültem, a 'q' leütésével kiléptem, és ekkor létrejött egy - a csillagok koordinátáit tartalmazó - fájl.

Ezután elindítottam a *noao.digiphot.apphot.phot* taszkot. Fontos, hogy itt meg kell adni a korábban létrehozott koordinátákat tartalmazó fájlt, valamint be kell állítani a csillag körüli gyűrűk sugarait a fotometriához. A taszk lefuttatásával kinyertem az egyes csillagok fényességét, amelyet a program *.mags* fájlokba mentett le. Ezekből a számomra szükséges információkat a *noao.digiphot.ptools.txdump* taszkkal egy *.dat* kiterjesztésű adatfájlba mentettem, majd a 2. számú mellékelt *awk* script lefuttatásával kinyertem a fényességkülönbségeket egy újabb fájlba. A fénygörbék elkészítéséhez a **Gnuplot**⁶-ot használtam.

⁶<http://www.gnuplot.info/>

7. Fénygörbék

Fénygörbének nevezzük azokat a grafikonokat, amelyek egy objektum fényességének időbeli változását írják le. [26]



10. ábra. Egy fénygörbe. [26]

A vízszintes tengelyen az időpont szerepel, leggyakrabban Julián-dátumban, a függőlegesen pedig a magnitúdóban megadott fényességadatok. Amplitúdónak nevezzük a fényesség abszolút szélsőértékeinek különbségét abszolút értékben. Periodikus fényességváltozás esetén megadható a periódus, amely a fénygörbe két azonos értékű pontja (mondjuk két minimum vagy maximum) között eltelt időt jelenti. Leszállóág alatt a maximumtól minimumig, felszállóág alatt pedig a minimumtól maximumig tartó szakaszt értjük.

A minimumidőpontok meghatározásához másodfokú polinomokat illesztettem a fénygörbékre a fedések kezdetétől a végéig tartó részekre Gnuplot segítségével, amelyek alakja:

$$y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c \quad (20)$$

(20)-nak x szerinti deriváltja:

$$2a \cdot x + b = 0 \quad (21)$$

(21)-ből x kifejezésével a görbe lokális minimuma:

$$x = \frac{-b}{2a} \quad (22)$$

Az illesztést követően a program kiírta az illesztett görbe $a \pm \Delta a$, $b \pm \Delta b$ és $c \pm \Delta c$ értékeit.

(22)-ből az x -hez tartozó Δx hiba:

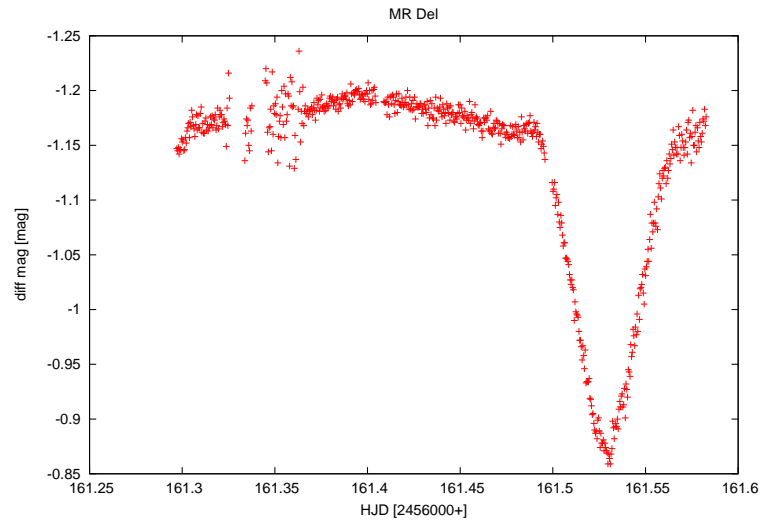
$$\Delta x = \sqrt{\left(-\frac{1}{2a} \cdot \Delta b\right)^2 + \left(\frac{b}{2a^2} \cdot \Delta a\right)^2} \quad (23)$$

7.1. MR Del

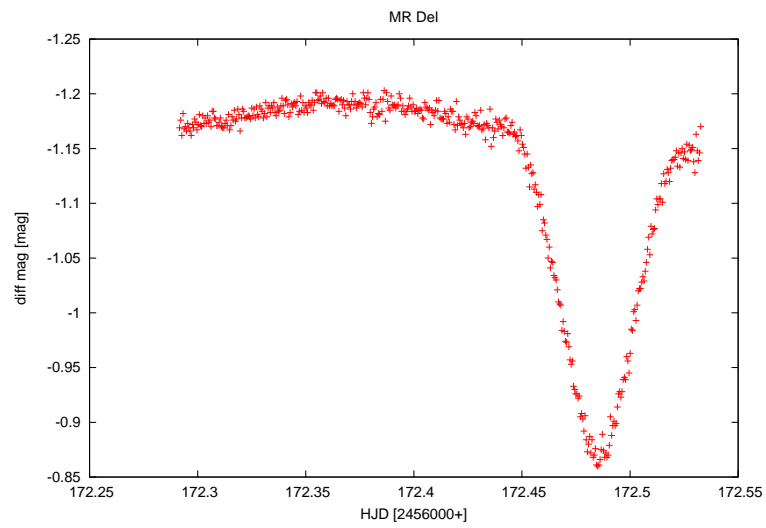
Az Algol típusú MR Del-t 3 éjszaka mértem és 3 minimumidőpontot sikerült meghatároznom. A fénygörbéken szépen látszik az Algolra jellemző közel állandó fényességű szakasz, valamint a minimumok kezdete és vége. A kicsit több, mint fél napos keringési periódusa miatt sajnos egyik fénygörbén sem látható együtt a fő- és a mellékminimum. [50],[59]

Csillagkép	Delfin
J2000	20 31 13,47 +05 13 08,5
Változó típusa	EA
Színképtípus	K2V
Fényesség [mag]	8,71-9,01 V
Periódus	0,521692 nap
Tömegek	$0,69 \pm 0,07 M_{\odot}$ és $0,63 \pm 0,06 M_{\odot}$
Sugarak	$0,83 \pm 0,02 R_{\odot}$ és $0,65 \pm 0,02 R_{\odot}$

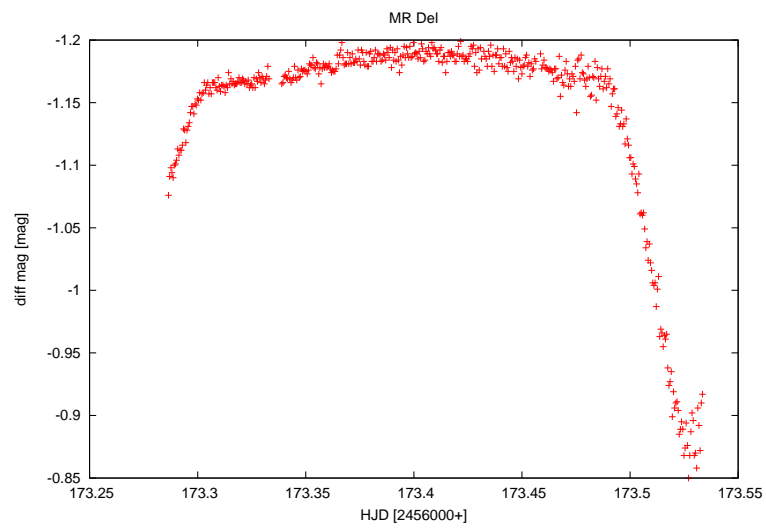
5. táblázat. Az MR Del adatai.



11. ábra. 2012.08.21.



12. ábra. 2012.09.01.



13. ábra. 2012.09.02.

2012.08.21.	$2456161,530 \pm 0,054$
2012.09.01.	$2456172,481 \pm 0,062$
2012.09.02.	$2456173,52 \pm 0,14$

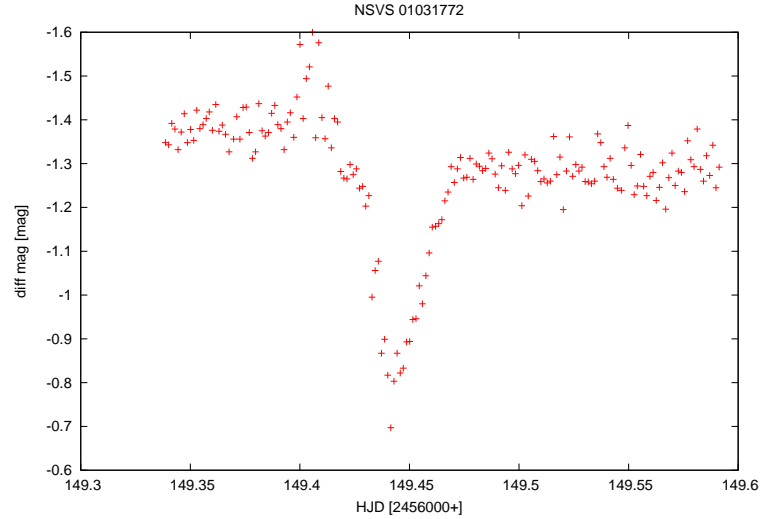
6. táblázat. Az MR Del minimumidőpontjai a fénygörbék alapján.

7.2. NSVS 01031772

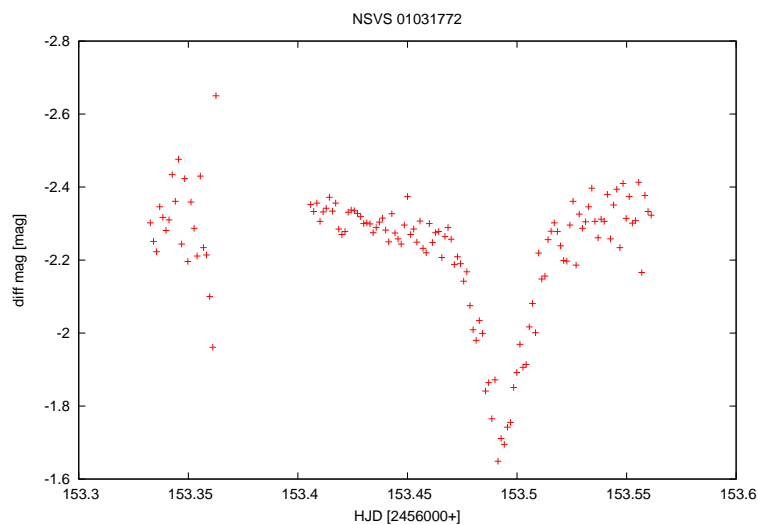
A Northern Sky Variability Survey által felfedezett Algol típusú NSVS 01031772-t 2 éjszaka mértem és 2 minimumidőpontot sikerült meghatároznom. A fénygörbéken sajnos kicsit nagyobb a pontok szórása, ami valószínűleg a kedvezőtlen légköri hatások következménye. [51],[55]

Csillagkép	Zsiráf
J2000	13 45 35,00 +79 23 48,0
Változó típusa	EA
Színképtípus	M2
Fényesség [mag]	~12,6 V
Periódus	0,3681414 nap
Tömegek	$0,5428 \pm 0,0027 M_{\odot}$ és $0,4982 \pm 0,0025 M_{\odot}$
Sugarak	$0,5260 \pm 0,0028 R_{\odot}$ és $0,5088 \pm 0,0030 R_{\odot}$
Effektív hőmérsékletek	3615 ± 72 K és 3513 ± 31 K

7. táblázat. Az NSVS 01031772 adatai.



14. ábra. 2012.08.09.



15. ábra. 2012.08.13.

2012.08.09.	$2456149,448 \pm 0,087$
2012.08.13.	$2456153,493 \pm 0,061$

8. táblázat. Az NSVS 01031772 minimumidőpontjai a fénygörbék alapján.

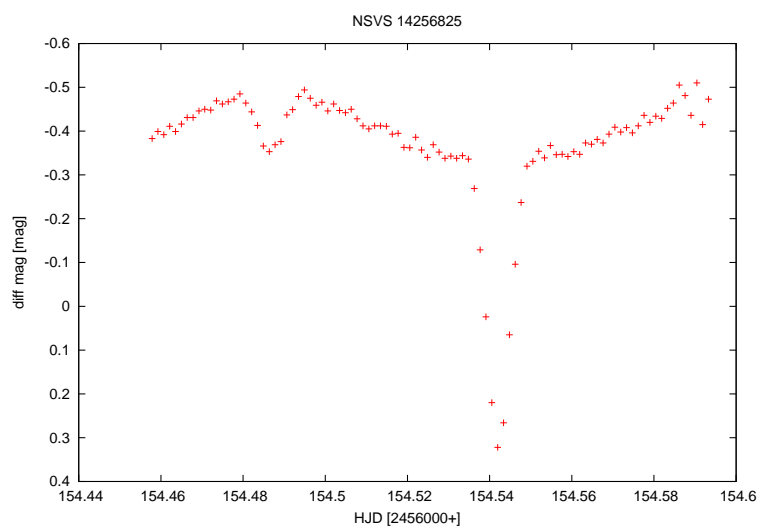
7.3. NSVS 14256825

A szintén Algol típusú, forró szubtörpéből és hideg törpecsillagból álló NSVS 14256825-öt 2 alkalommal mértem és összesen 3 fő- és 3 mellékminimum-időpontot sikerült meghatároznom. A fénygörbéken szépen láthatóak az Algol fő jellemzői: a fedések közötti állandó fényességű szakaszok, valamint a különböző mélységű fő- és mellékminimumok kezdete és vége, továbbá jól megfigyelhető a reflexiós effektus hatása is. Az első fénygörbén egy, a másodikon két teljes periódus látható.

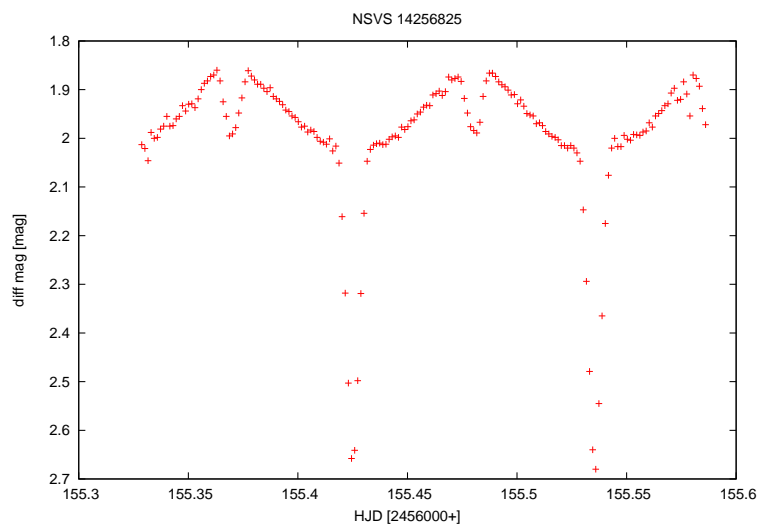
Az eddigi mérések alapján változik a rendszer periódusa és valószínű, hogy tartalmaz két exobolygót a következő paraméterekkel: $\sim 3,5$ és $\sim 6,9$ éves keringési periódussal, tömegük $2,9 M_{Jupiter}$ és $8,1 M_{Jupiter}$. A eredmények megerősítéséhez további megfigyelések szükségesek. [52],[57],[58]

Csillagkép	Sas
J2000	20 20 00,46 +04 37 56,5
Változó típusa	EA
Színtípus	sdOB+dM
Fényesség [mag]	13,13-13,93 V
Periódus	0,110374230 nap
Tömegek	0,419±0,070 M _☉ és 0,109±0,023 M _☉
Sugarak	0,188±0,010 R _☉ és 0,162±0,008 R _☉
Effektív hőmérsékletek	42300±400 K és 2400±600 K

9. táblázat. Az NSVS 14256825 adatai.



16. ábra. 2012.08.14.



17. ábra. 2012.08.15.

2012.08.14. 1. minimum	2456154,49±0,11
2012.08.14. 2. minimum	2456154,542±0,098
2012.08.15. 1. minimum	2456155,370±0,065
2012.08.15. 2. minimum	2456155,425±0,071
2012.08.15. 3. minimum	2456155,481±0,053
2012.08.15. 4. minimum	2456155,536±0,075

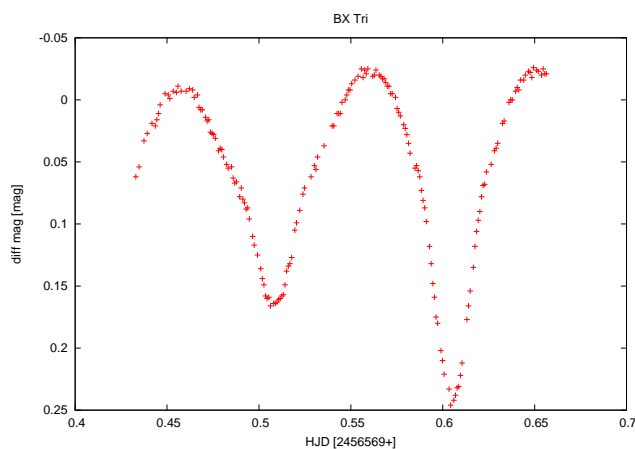
10. táblázat. Az NSVS 14256825 minimumidőpontjai a fénygörbék alapján.

7.4. BX Tri

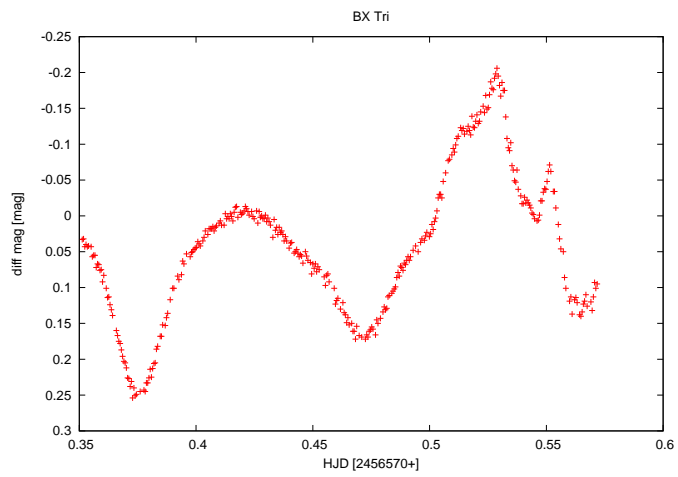
A BX Tri változócsillagot 6 alkalommal mértem és 12 minimumidőpontot sikerült meghatároznom. Ez egy W Ursae Majoris típusú fedési kettőscsillag. A fénygörbéken látható, hogy a rendszer fényessége folyamatosan változik és nem határozható meg a fedések kezdete és vége. A 2013. október 4-i mérés végén látható furcsa fényességváltozás oka az extrém magas páratartalom volt. [53]

Csillagkép	Háromszög
J2000	02 20 50,85 +33 20 47,6
Változó típusa	EW
Színképtípus	M
Fényesség [mag]	13,25-13,44 V
Periódus	0,1926347 nap

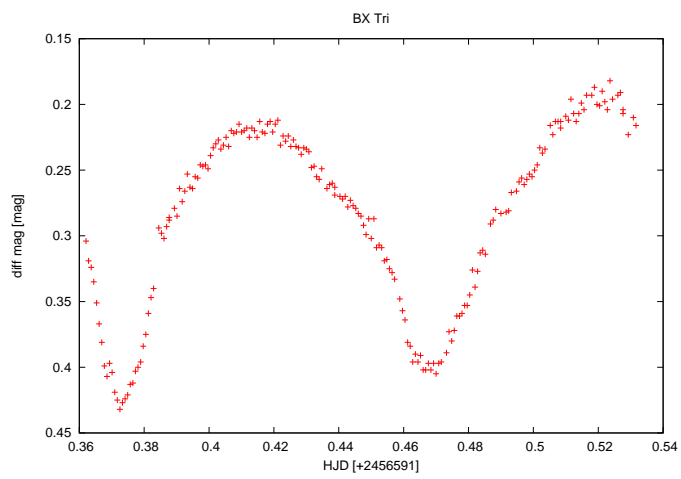
11. táblázat. A BX Tri adatai.



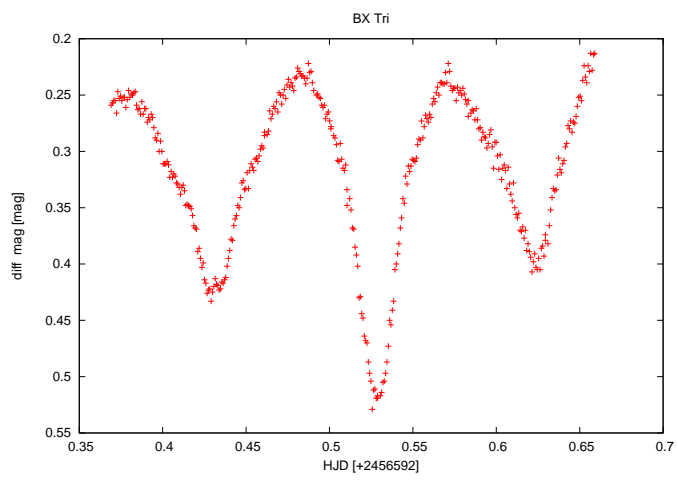
18. ábra. 2013.10.03.



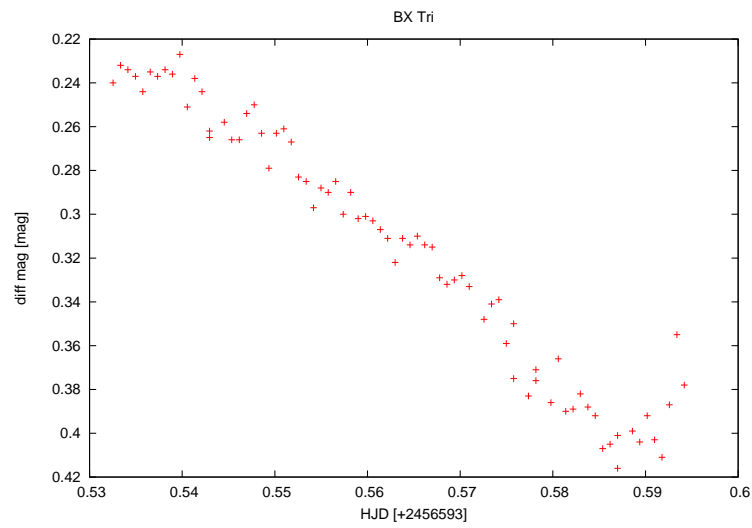
19. ábra. 2013.10.04.



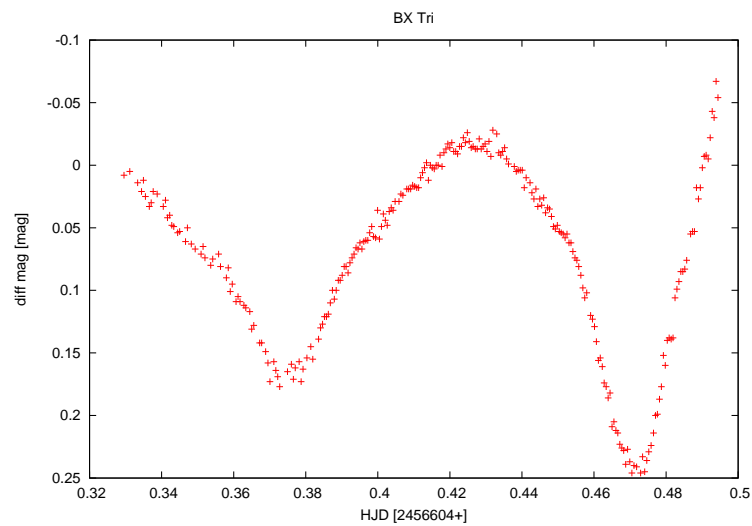
20. ábra. 2013.10.25.



21. ábra. 2013.10.26.



22. ábra. 2013.10.27.



23. ábra. 2013.11.07.

2013.10.03. 1. minimum	$2456569,503 \pm 0,065$
2013.10.03. 2. minimum	$2456569,600 \pm 0,063$
2013.10.04. 1. minimum	$2456570,372 \pm 0,089$
2013.10.04. 2. minimum	$2456570,464 \pm 0,089$
2013.10.25. 1. minimum	$2456591,373 \pm 0,063$
2013.10.25. 2. minimum	$2456591,469 \pm 0,098$

12. táblázat. A BX Tri minimumidőpontjai a fénygörbék alapján.

2013.10.26. 1. minimum	2456592,429±0,088
2013.10.26. 2. minimum	2456592,528±0,080
2013.10.26. 3. minimum	2456592,617±0,087
2013.10.27.	2456593,58±0,14
2013.11.07. 1. minimum	2456604,372±0,084
2013.11.07. 2. minimum	2456604,470±0,078

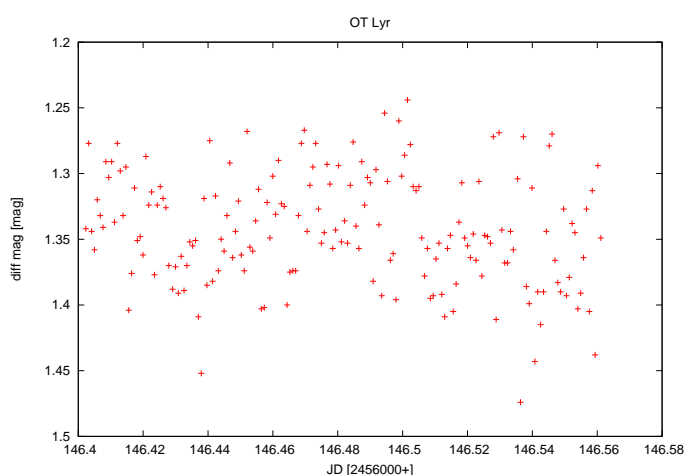
13. táblázat. A BX Tri minimumidőpontjai a fénygörbék alapján.

7.5. OT Lyr

Az OT Lyr változócsillagot mértük először. Annak ellenére, hogy közös munkavégzés történt, sajnos egyikünk sem nézte meg előre, hogy mikor lesz fedés, ezért nem sikerült minimumidőpontot kimérni. [54]

Csillagkép	Lant
J2000	19 08 11,56 +29 13 58,1
Változó típusa	EA
Fényesség [mag]	13,9-14,9 fotografikus
Periódus	0,471095 nap

14. táblázat. Az OT Lyr adatai.



24. ábra. 2012.08.06.

8. Összefoglalás

A szakdolgozatom készítésekor megtanultam a szegedi és a piszkéstetői 40 cm-es távcsövek kezelésének alapjait. A gyakorlati tapasztalatokon kívül bővült az elméleti tudásom is. A mérések feldolgozása során megtanultam és gyakoroltam több Linux alapú szoftver használatát. Megismerkedtem az IRAF szoftvercsomag alapvető utasításaival és beállításaival, valamint a Gnuplot használatával. A fénygörbékre illesztett másodfokú polinomokkal meghatároztam a fényesség minimumidőpontjait.

Piszkéstetőn összesen négy hetet töltöttem el, amely eredménye 7 fénygörbe 14 minimummal. A szegedi mérésekből 7 fénygörbe született 9 minimummal.

Örülök, hogy részt vehettem a DWARF projektben, az exobolygó-kutatásban és remélem, hogy a mérési eredményeimmel segíteni tudtam munkájukat.

Az általam két éjszaka is mért NSVS 14256825 kettőscsillag eddigi mérései alapján úgy tűnik, hogy a rendszer két exobolygót is tartalmaz. [57] Ennek igazolásához további mérésekre van szükség, ami szerintem a DWARF projekt keretében hamarosan meg fog történni.

9. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni Dr. Székely Péternek, hogy megtanította a távcső kezelését, az IRAF programcsomag használatát. A felmerülő problémákban és kérdésekben mindig segített. Köszönöm, hogy segített elintézni, hogy többször is eljussak Piszkestetőre. Köszönet illeti Szakáts Róbertot, aki Piszkestetőn végig mellettem állt és segített minden elméleti és gyakorlati probléma megoldásában. Megköszönöm Dr. Szatmáry Károlynak, hogy engedélyt adott a Szegedi Csillagvizsgáló műszereinek használatához és Dr. Kiss Lászlónak, hogy engedélyezte a méréseket Piszkestetőn.

Hivatkozások

- [1] IRAF Project
<http://iraf.noao.edu/>
- [2] DWARF Project
<http://astronomy.science.upjs.sk/projectdwarf/>
- [3] <http://arxiv.org/abs/1201.1388>
- [4] <http://vcssz.mcse.hu/index2.html>
- [5] <http://konkoly.hu/>
- [6] http://www.konkoly.hu/~lmolnar/tanf/kettoscsillagok_13.pdf
- [7] http://www.konkoly.hu/~lmolnar/tanf/Valtozocsillagaszat_13.pdf
- [8] <http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/>
- [9] <http://asterope.bajaobs.hu/cski/fva/eszlel.html>
- [10] http://www.aavso.org/files/hungarian_manual.pdf
- [11] <http://fenyi.solarobs.unideb.hu/oktatas/F2706jegyzet/9valtozok.pdf>
- [12] <http://pleione.freewb.hu/valtozocsillagok>
- [13] http://www.mcse.hu/szakcsoportok/valtozocsillagok_2.html
- [14] <http://tudasbazis.csillagaszat.hu/csillagok-szerkezete/valtozocsillagok.html>
- [15] http://astro.elte.hu/icsip/csill_elete/csillagtipusok/valtozok.html
- [16] <http://astro.u-szeged.hu/oktatas/asztrofizika/html/node61.html>
- [17] <http://astro.u-szeged.hu/oktatas/asztrofizika/html/node63.html>
- [18] <http://astro.u-szeged.hu/oktatas/asztrofizika/html/node64.html>
- [19] <http://astro.u-szeged.hu/oktatas/asztrofizika/html/node76.html>
- [20] <http://astro.u-szeged.hu/oktatas/asztrofizika/html/node75.html>
- [21] <http://astro.u-szeged.hu/oktatas/asztrofizika/html/node78.html>

- [22] <http://astro.u-szeged.hu/oktatas/asztrofizika/html/node79.html>
- [23] <http://astro.u-szeged.hu/ismeret/valtozok/valtozok.html>
- [24] Marik Miklós: Csillagászat, Akadémiai Kiadó, 1989
- [25] Cooper W.A., Walker E.N.: Csillagok távcsővégen, Gondolat Kiadó, 1994
- [26] Mizser Attila: Amatőr csillagászok kézikönyve, Magyar Csillagászati Egyesület, 2002
- [27] Simon Singh: A Nagy Bumm, Park Kiadó, 2007
- [28] <http://www.midnightkite.com/index.aspx?URL=Binary>
- [29] <http://astro.unl.edu/naap/ebs/animations/ebs.html>
- [30] <http://abyss.uoregon.edu/~js/applets/eclipse/eclipse.htm>
- [31] <http://www.physics.sfasu.edu/astro/ebstar/ebstar.html>
- [32] <http://www.britastro.org/vss/EBHandbook11.pdf>
- [33] http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2010_2011/Eclipsing_binary_stars.pdf
- [34] <http://www.astro.caltech.edu/~george/ay20/Ay20-Lec4x.pdf>
- [35] http://real-d.mtak.hu/590/7/SzatmaryKarloly_doktori_mu.pdf
- [36] <http://astro.u-szeged.hu/szakdolg/aliz/>
- [37] http://astro.u-szeged.hu/szakdolg/mitnyantibor_szdBSc/MitnyanTibor_BSc_szd.pdf
- [38] http://astro.u-szeged.hu/szakdolg/szakatsr_szd/szakatsrobert_szd.pdf
- [39] http://astro.u-szeged.hu/szakdolg/pappdavid_szdBSc/PappDavid_szdBSc.pdf
- [40] http://astro.u-szeged.hu/szakdolg/tothzoltan_szdBSc/TothZoltan_szdBSc.pdf

- [41] http://www.csillagaszat.hu/exobolygok/20080402_kettoscsillag_exobolygo.html
- [42] <http://ccd.mcse.hu/egyb/oc-tavol.html>
- [43] <http://vcssz.mcse.hu/cikk/var0105.html>
- [44] <http://www.exoplanet.eu/>
- [45] <http://arxiv.org/pdf/1206.6709v1.pdf>
- [46] <http://astro.u-szeged.hu/oktatas/asztrofizika/html/node96.html>
- [47] http://www.aavso.org/sites/default/files/publications_files/manual/hungarian_2013/HungarianManual-2013.pdf
- [48] <http://astro.u-szeged.hu/nyito2.jpg>
- [49] http://astro.u-szeged.hu/oktatas/asztrofizika/html/3_49_abra_Roche_class_suw0812.jpg
- [50] <http://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail.top&oid=13567>
- [51] <http://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail.top&oid=174529>
- [52] <http://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail.top&oid=167309>
- [53] <http://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail.top&oid=160187>
- [54] <http://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail.top&oid=18347>
- [55] <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0610225>
- [56] <http://arxiv.org/abs/1302.4137>
- [57] <http://arxiv.org/abs/1210.3055>
- [58] <http://arxiv.org/abs/1203.1266>
- [59] <http://arxiv.org/abs/1011.3677>
- [60] <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0511176>
- [61] http://astro.u-szeged.hu/oktatas/asztrofizika/html/3_46_abra_fedesi_tip2.jpg

10. Függelék

A képek redukálása során felhasznált scriptek:

1. A *.fit* kiterjesztésű képek konvertálása *.jpeg* kiterjesztésűekre:

```
#!/bin/bash

for ((i=1;i<=9;i++))
do
ds9 Kep_neve-00"$i".fit -zscale -zoom 0.75 -saveimage jpeg
Kep_neve-00"$i".jpeg -exit
done

for ((j=10;j<=99;j++))
do
ds9 Kep_neve-0"$j".fit -zscale -zoom 0.75 -saveimage jpeg
Kep_neve-0"$j".jpeg -exit
done

for ((k=100;k<=999;k++))
do
ds9 Kep_neve-"$k".fit -zscale -zoom 0.75 -saveimage jpeg
Kep_neve-"$k".jpeg -exit
done

exit 0;
```

2. Fényességkülönbség kiszámítása:

```
{
hjd=$1; v=$2; getline; hjd=$1; oh=$2; getline; hjd=$1; chk=$2;
print hjd,v-oh;
}
```

11. Nyilatkozat

Alulírott Hatala Kornél Fizika BSc szakos hallgató (ETR azonosító: HAKSAET.SZE) a Fedési kettőscsillagok fotometriája című szakdolgozat szerzője fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem, hogy dolgozatom önálló munkám eredménye, saját szellemi termékem, abban a hivatkozások és idézések általános szabályait következetesen alkalmaztam, mások által írt részeket a megfelelő idézés nélkül nem használtam fel.

Szeged, 2013. december 7.

.....

a hallgató aláírása