

# Az NGC 6834 nyílthalmaz fotometriai vizsgálata

TDK Dolgozat



Készítette: Kun Emma, csillagász szakos hallgató  
Szegedi Tudományegyetem

Témavezető: Dr. Székely Péter, egyetemi tanársegéd  
Szegedi Tudományegyetem  
Kísérleti Fizikai Tanszék

Szeged, 2010

# Tartalomjegyzék

<b>1. Elméleti oldal</b>	<b>3</b>
1.1. Általában a nyílthalmazokról . . . . .	3
1.1.1. Kialakulás . . . . .	3
1.1.2. Általános jellemzés . . . . .	4
1.1.3. A nyílthalmazok osztályozása . . . . .	4
1.2. Csillagászati fényességmérés . . . . .	5
1.3. A Hertzsprung-Russell Diagram (HRD) . . . . .	6
1.4. Fősorozat illesztés, az izokrón görbe . . . . .	7
1.5. Változócsillagok . . . . .	9
1.6. Az NGC 6834 . . . . .	11
<b>2. Használt műszerek</b>	<b>12</b>
2.1. Távcső . . . . .	13
2.2. CCD kamera . . . . .	13
2.3. Standard fényszűrők . . . . .	14
<b>3. Adatredukciók, képfeldolgozás</b>	<b>16</b>
<b>4. WCS transzformáció</b>	<b>18</b>
4.1. A módszerről . . . . .	18
4.2. Gyakorlati megvalósítás . . . . .	19
<b>5. Fényességmérés</b>	<b>21</b>
5.1. Apertúra fotometria . . . . .	21
5.1.1. A módszerről . . . . .	21
5.1.2. Gyakorlati megvalósítás . . . . .	22
5.2. PSF fotometria . . . . .	24
5.2.1. A módszerről . . . . .	24
5.2.2. PSF csillagok válogatása, a PSF meghatározása képenként . . . . .	25
5.2.3. Az összes csillag PSF fotometriája . . . . .	25

<b>6. A differenciális fénygörbék létrehozása</b>	<b>28</b>
<b>7. Extinkciós korrekció, standard transzformáció</b>	<b>30</b>
<b>8. Eredmények</b>	<b>33</b>
8.1. A halmaz szín-fényesség–diagramjai. Evolúciós állapot. . . . .	33
8.2. Változókeresés . . . . .	36
<b>9. Összefoglalás</b>	<b>39</b>
<b>Köszönetnyilvánítás</b>	<b>40</b>
<b>10. Függelék</b>	<b>41</b>
10.1. Saját fejlesztésű programok, szkriptek . . . . .	41
10.2. Illesztések . . . . .	50

# 1. Elméleti oldal

## 1.1. Általában a nyílthalmazokról

### 1.1.1. Kialakulás

A csillagkeletkezés modellje szerint a protocsillagok kialakulásának első fázisa az ún. gravitációs kollapszus. Vegyünk egy molekulafelhőt, mely kezdetben egyensúlyban van (több öreg molekulafelhőt ismerünk, melyekre ez igaz). Egyensúly esetén érvényes a viriáltétel, vagyis  $\Omega + 2U = 0$ , ahol  $\Omega$  a felhő teljes potenciális energiája,  $U$  a felhő belső energiája. Azt a tömeget, amelynél a felhő még éppen egyensúlyban van, Jeans-tömegnek nevezzük (1). Amennyiben a felhő tömege meghaladja a Jeans-tömeget ( $M_J$ ) és a felhő nem lesz egyensúlyban. Ekkor  $\Omega > 2U$ , beindul a gravitációs kollapszus. Összehúzódás közben lassan növekszik a sűrűség. A felhő saját termikus sugárzására átlátszó, a felszabaduló hőt akadálytalanul ki tudja sugározni és izotermikus lesz a folyamat. A Jeans-tömeg (Carroll-Ostlie, 2007):

$$M_J = \left(\frac{5\mathfrak{R}}{G}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{3}{4\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{T}{\mu}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \rho^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Összehúzódáskor a felhő átlagos sugara csökken, a sűrűsége növekszik. Az  $M_J \sim \frac{1}{\sqrt{\rho}}$  arányosság miatt a Jeans-tömeg csökkenni fog, ennek hatására a kisebb gócok önmagukban is meghaladhatják a stabilitás határát. Ezt a folyamatot nevezzük fragmentációnak, melynek során több instabil góc alakul ki a felhőn belül. Az elmélettel összhangban a megfigyelések is bizonyítják, hogy a csillagok csoportosan keletkeznek. Az evolúciós állomásokat végigjárva ezekből a kezdeti sűrűsödésekből saját energiatermeléssel rendelkező csillagok alakulnak ki. Az egy felhőből született csillagok halmazokat alkotnak, amennyiben erősebb gravitációs kapcsolatban állnak egymással, mint a környező ún. mezőcsillagokkal. Így jöhetett létre az általam vizsgált NGC 6834 katalógusszámú nyílthalmaz is.

### 1.1.2. Általános jellemzés

A nyílthalmazokról általánosságban elmondhatjuk, hogy laza, szabálytalan alakú, fiatal objektumok. Tejútrendszerünk a kialakulása során idővel ellaposodott, anyaga főként egy lapos korongba sűrűsödött. Főként ebben a galaktikus fősíkban találhatóak a nyílthalmazok is. A nyílthalmazokra jellemző méret 1-20 parszek (pc), átlagosan 4 pc. Csillagtartamuk pár tíz és több ezer közötti, abszolút fényességük körülbelül  $0^m$  és  $-10^m$  között változik. Vizuális megjelenésük inkább aszimmetrikus, néhány kivételtől eltekintve nem tapasztalunk erős központi csillagsűrűsödést.

### 1.1.3. A nyílthalmazok osztályozása

Nyílthalmazok osztályozása [8], a Shapley-Trumpler féle rendszer szerint:

1. centrális koncentráció szerint:

I: feltűnően erős, II: erős, III: közepes, IV: még éppen észlelhető.

2. a halmaztagok fényesség szerinti eloszlása szerint:

(1): minden tag körülbelül egyforma fényrendű

(2): egy nagyobb fényesség-intervallumot nagyjából egyenletesen töltenek ki a csillagok

(3): néhány fényes csillag mellett a többiek viszonylag halványak

3. csillaggazdagságuk szerint (N):

p (angol, poor): csillagokban szegény,  $N < 50$

m (angol, moderate): közepes csillagtartam,  $50 < N < 100$

r (angol, rich): csillagokban gazdag,  $100 \leq N$ .

Ezen szempontok szerint az NGC 6834:  $II(2)m$ .

## 1.2. Csillagászati fényességmérés

Ha feltekintünk a csillagos égre, észrevehetjük, hogy a csillagok fényessége igen változatos, színük is sok esetben észrevehetően eltér. A csillagokat már az ókorban is osztályozták látszó fényességük ( $m$ ) alapján. Hipparkhosz görög tudós fényrendekbe sorolta az égen látszó csillagokat; a legfényesebb csillagok az első osztályba (első fényrendűek), az éppen észrevehetőeket a hatodik osztályba (hatodik fényrendűek) kerültek. N.G. Pogson rendelt először számokat a csillagok fényességéhez azzal, hogy definiálta egy csillag magnitúdóját:

$$m = -2,5 \lg I, \quad (2)$$

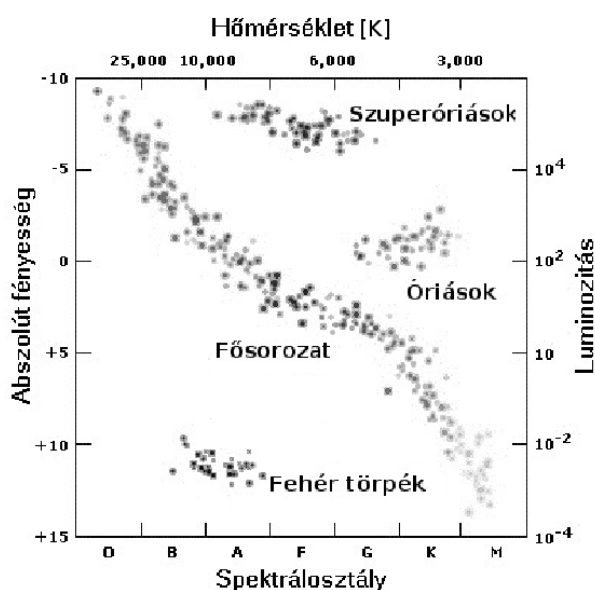
ahol  $m$  az érzet, és  $I$  az intenzitás (inger). A csillagok látszó fényessége függ energiatermelésüktől és távolságuktól is. Egy kis energiatermelésű és közeli csillag látszó fényessége emiatt hasonló lehet egy nagyobb energiatermelésű, ám tőlünk távolabbra elhelyezkedő csillagéhoz. Ahhoz, hogy fényességük alapján következtetni tudjunk a csillagok valódi energiakibocsátására, be kell vezetnünk az ún. abszolút magnitúdó ( $M$ ) fogalmát. Az abszolút magnitúdó megegyezik a csillag 10 pc távolságból megfigyelhető látszó fényességével (itt eltekintettünk a csillagközi anyag fényelnyelő hatásaitól). Ezt közvetlenül mérni nem tudjuk, viszont hasznos mértékadónak bizonyult az évek során. A látszó és abszolút fényességek közötti kapcsolatot a távolságmodulus (3) írja le. Tegyük fel, hogy  $r$  távolságra tőlünk egy  $f$  fényforrás által kisugárzott jelet érzékeljük  $I_1$  intenzitással. Egy 10 pc sugarú gömb felszínén a fényforrás intenzitása legyen  $I_2$ . Az intenzitás egy  $r$  sugarú gömbön  $\frac{1}{r^2}$ -tel arányos. Tehát  $I_1 \sim \frac{1}{r^2}$  és  $I_2 \sim \frac{1}{10^2}$ . Ezeket (2)-be írva megkapjuk a távolságmodulus képletét:

$$\begin{aligned} m - M &= -2,5 \lg \frac{I_1}{I_2} = -2,5 \lg \left( \frac{10}{r} \right)^2 = -2,5 \lg 10^2 + 2,5 \lg r^2 \implies \\ m - M &= -5 + 5 \lg r \end{aligned} \quad (3)$$

Láthatjuk, hogy ha megmérjük egy égitest látszó fényességét és valamilyen módszerrel meghatározzuk az abszolút fényességét, távolságot mérhetünk.

### 1.3. A Hertzsprung-Russell Diagram (HRD)

Ejnar Hertzsprung dán és Henry Norris Russell amerikai csillagászok egymástól függetlenül a csillagokat abszolút fényességük és színképtípusuk (felszíni hőmérsékletük) alapján rendszereztek. Rájöttek, hogy a csillagok nem véletlenszerűen csoportosulnak ezen a diagramon, hanem különböző ágakat, területeket rajzolnak ki. A későbbi kutatások rámutattak, hogy ezen ágakban csillagfejlődési állapotuknak megfelelő helyen tartózkodnak a csillagok. A bal felső a saroktól jobb alsó sarokig húzódó ágot főág-



1. ábra. A HRD.

nak (main sequence) nevezzük, a főágbeli csillagok energiakibocsátásáért a magbeli hidrogénfúzió folyamata felelős. Egy átlagos csillag életének leghosszabb idejét itt tölti, ez a fajta fúzió lassan emészti fel a csillag hidrogéntartalmát. Ha ránézünk egy HRD-re láthatjuk, hogy ez a csoport a legnépesebb, a legtöbb csillag a főágon helyezkedik el. Amint elfogy centrális tartományukban a fűtőanyag, a csillagok elkejlődnek a jobb felső sarokban található csoportosulás felé. Ezt óriáságnak (giant branch) nevezzük. Ha a csillag elegendően nagy kezdeti tömeggel rendelkezett, a hélium fúziójához szükséges környezet alakul ki a magban. A héliumfúzió gyors belobbanása után a csillag a horizontális, később az aszimptotikus óriáságra kerül. A kisebb kezdeti tömeggel született

csillagok a vörös óriás állapotukban olyannyira felfúvódnak, hogy a felszíni szökési sebesség egészen kis érték lesz és a csillag anyaga könnyen elszökik. Ekkor beszélhetünk planetáris köd kialakulásáról, a fehér törpévé alakult csillagmagot ezek a lefújott héjak veszik körbe, igen látványos és szép formációkat kialakítva. Kezdeti tömegüktől függően a csillagok végül fehér törpeként, neutroncsillagként, esetleg fekete lyukként fejezik be életüket.

#### **1.4. Főszorozat illesztés, az izokrón görbe**

A HRD helyett a körülbelül vele ekvivalens szín-fényesség–diagram (CMD, color magnitude diagram) alapján is következtethetünk a csillagok evolúciós állapotára. Ez azért jó, mert nem igényel spektroszkópiát. A HRD vízszintes tengelyén színképosztály helyett szerepelhet a csillagok valamelyik színindexe, függőleges tengelyén pedig luminozitás helyett az abszolút fényességük. Színindexnek nevezzük két különböző hullámhosszra centrált szűrőben mérhető látszó fényességek különbségét. A luminozitás egy test által egységnyi idő alatt kisugárzott energia. Ha több nyílthalmaz CMD-jét egyszerre ábrázoljuk, észrevehető, hogy a főszorozatok halmazonként máshol kanyarodnak le. Ezt a helyet nevezzük elfordulási pontnak, vagy angol szakterminológiát használva „turn-off point”-nak. Minél fiatalabb egy halmaz, annál több csillaga van még a főszorozaton és annál kevesebb indult el az óriásági állapot felé. A legfiatalabb nyílthalmazok szinte összes csillaga a főágon található. Összességében elmondható, hogy minél idősebb egy halmaz, annál alacsonyabb fényességnél található ez az elfordulási pont. A CMD-re izokrónt illeszthetünk. Izokrón: azonos korú, viszont különböző kezdőtömeggel induló csillagok által kirajzolt fejlődési útvonal. A CMD felvételét nehezíti, hogy a nyílthalmazok a Tejútrendszer fősíkjában találhatóak, itt koncentrálódik a csillagközi anyag (por és gáz) nagy része is, nagy az extinkció és sok a háttércsillag. Felrajzolván egy elméleti és egy mért izokrónt, két különbséget veszünk észre először:

- Az elméleti izokrónok abszolút magnitúdót adnak, ez - mint fentebb említettem - a csillagok látszó fényessége 10 pc távolságból. Ha csak nem pontosan 10 pc-re van tőlünk az adott halmaz, a látszó és az abszolút fényessége nem fog egyezni, a két felrajzolt CMD között függőleges eltolást tapasztalunk.



- Az elméleti izokrónok a csillagok vörösödésmentes színindexeit adják. A halmaz és a köztünk levő térben a csillagközi anyag hullámhosszfüggő fényelnyelő, más néven extinkciós hatást gyakorol a csillagok fényére, látszólag „eltolja” azt a vörös irányba. Ez vörösödést okoz, a két felrajzolt CMD között vízszintes eltolást is tapasztalunk.

Az extinkciót meghatározhatjuk egy szűrőben (azaz egy bizonyos hullámhosszon) a látszó és a valódi fényességek különbségeként:

$$A_V = V - V_0 \quad (4)$$

Így a vörösödés, vagy másnéven színexcesszus, meghatározható egy színindex látszó és valódi értékének különbségeként (a nagybetűk az adott szűrőben mérhető, standard látszó fényességekre utalnak):

$$E(B - V) = (B - V) - (B - V)_0 = A_B - A_V \quad (5)$$

A Tejútrendszerben érvényesek bizonyos empirikus relációk ezen mennyiségek között:

$$A_V \approx 3,0 \cdot E(B - V) \quad (6)$$

$$\frac{E(V - I)}{E(B - V)} \approx 1,6 \quad (7)$$

$$\frac{E(V - R)}{E(B - V)} \approx 0,78 \quad (8)$$

Így meghatározva fősorozat illesztéssel a halmaz vörösödését, kiszámolhatjuk a csillagközi fényelnyelést és pontosabbá tehetjük a távolságmodulust:

$$m_V - M_V = -5 + 5 \log_{10} d + A_V \quad (9)$$

## 1.5. Változócsillagok

Változócsillagoknak azokat a csillagokat tekintjük, amelyek emberi léptékű időskálán fényességváltozást mutatnak. Tágabb értelemben persze minden csillag változócsillagnak tekinthető, hiszen evolúciójuk során (évmilliók, évmilliárdok alatt) is változtatják fényességüket, viszont ezeket nyilván közvetlen úton nem tudjuk megfigyelni, a csillagfejlődési modellek eredményei mutatják meg. A Változócsillagok Nemzetközi Katalógua 6 főbb változótípust különböztet meg. Vastag betűvel jelölöm a nyílthalmalakban nagy eséllyel előforduló osztályokat és az alosztályokat, majd a felsorolás után jellemzem a csoportok tagjait:

1. Eruptív (FU, GCAS, I, IA, IB, IN, INA, INB, INT, IT, IN(YY), IS, ISA, ISB, RCB, RS, SDOR, UV, UVN, WR),
2. **Pulzáló** (ACYG, BCEP, BCEPS, CEP, CEP(B), CW, CWA, CWB, **DCEP**, DCEPS, **DSCT**, DSCTC, GDOR, L, LB, LC, M, PVTEL, RPHS, RR, RR(B), RRAB, RRC, RV, RVA, RVB, SR, SRA, SRB, SRC, SRD, SXPHE, ZZ, ZZA, ZZB),
3. Rotáló (ACV, ACVO, BY, ELL, FKCOM, PSR, SXARI),
4. Katakizmikus (robbanásos és nóvaszerű változók) (N, NA, NB, NC, NL, NR, SN, SNI, SNII, UG, UGSS, UGSU, UGZ, ZAND),
5. **Fedési kettős rendszerek** (E, **EA**, **EB**, **EW**, GS, PN, RS, WD, WR, AR, D, DM, DS, DW, K, KE, KW, SD),
6. Intenzíven változó röntgen-források (X, XB, XF, XI, XJ, XND, XNG, XP, XPR, XPRM, XM),
  - **Pulzáló változók:** A pulzáló változócsillagok periodikus fényességváltozásaiért légkörük ritmikus mozgása, tágulása és összehúzódása a felelős. Ezt közvetlenül természetesen nem látjuk, a fotoszféra változó sebességei spektroszkópiai úton, a Doppler-effektus segítségével mutathatóak ki. A pulzáció a HRD jól meghatározott részein jelentkezik. Az egyik legfontosabb ilyen terület az instabilitási sáv, a változócsillagok nagy része itt található. A pulzáló változócsillagok egyensúlyi helyzetük körül tartósan szabályos rezgésre képesek, melynek frekvenciája

a csillag átlagsűrűségének négyzetgyökével arányos. Ezt nevezzük a pulzáció sajátrezgésének. A pulzáció lehet radiális, nemradiális és a kettő keveréke is.

$\delta$  **Cephei**: Klasszikus, vagy delta cefeidák. Fényváltozásuk vizuális amplitúdója  $0,^m 1 - 2^m$ , periódusa 3-50 nap. Viszonylag fiatal objektumok, nyílthalmazokban gyakori az előfordulásuk. A HRD instabilitási sávjának balról eső részén találhatóak, hideg óriáscsillagok.

$\delta$  **Scuti**: Ezen csillagok A0-F5 III-V spektráltípusúak, fényváltozásuk vizuális amplitúdója  $0,^m 003-0,^m 09$ , periódusuk 1-2 óra. Az instabilitási sáv, illetve a fő-sorozat metszésénél találhatóak. Pulzációjukban radiális és nemradiális módusok is jelen lehetnek, akár egyszerre is. Fénygörbájük alapvetően szinuszos jellegű, viszont ennek alakja nemradiális módusok hatására erősen torzulhat. Többségük I. populációs csillag, így fiatal koruk okán a galaktikus fősíkban találhatóak meg főleg, annak ún. flat komponenseként.

- **Fedési rendszerek:** Ha a rendszer keringési síkja szinte éléről látszik a megfigyelő látóirányából, a komponensek időről időre el fogják takarni egymást, az összfényesség változni fog. Fedéskor, ha a nagyobb felületi hőmérsékletű csillagot takarja el a hidegebb társa, akkor egy mély, ún. főminimumot fogunk látni, ellenkező esetben mellékminimumot. Teljes fedés esetén az egyik csillag teljes felületével takarja a másik csillagot, ekkor minimumban egy kis ideig konstans lesz a fényesség. Ha csak részleges fedés következik be, akkor a minimum „hegyes”, konstans szakasz nélküli lesz. A fényváltozási periódus (például két főminimum között eltelt idő) az adott rendszer keringési periódusától függ.

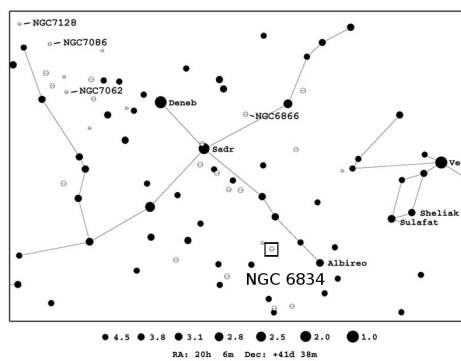
**EA:** Algol típusú fedési kettősök. A komponensek gömb alakúak, a fedés kitüntetett időpontjai (fő- és mellékminimum) egyértelműen meghatározhatóak. Minimum időpontokon kívül az összfényesség állandó, reflexiós hatások, fizikai változások jelenléte miatt a fénygörbe azonban változhat.

**EB:** Béta Lyrae típusúak. A komponensek ellipszoid alakúak, a fedés kitüntetett időpontjai még mindig megkülönböztethetőek (a főminimum mélyebb), az összfényesség folyamatosan változik.

**EW:** W UMA típusúak. Kontakt vagy érintkező kettősök, a fő és mellékminimumok mélysége alig megkülönböztethető.

## 1.6. Az NGC 6834

Az NGC 6834 a nyári égbolt egyik igen szép és jellegzetes csillagképében, a Hattyúban (Cygnus) helyezkedik el, a Tejútrendszer fősíkjának peremvidékén. Ekvatoriális koordinátái:  $\alpha_{J2000}=19^{\text{h}}52^{\text{m}}$ ,  $\delta_{J2000}=+29^{\circ}24'$ . Galaktikus koordinátái:  $l=65,^{\circ}71$ ,  $b=+1,^{\circ}19$ .



2. ábra. NGC 6834 csillagtérképen.

Négy nyílthalmaz közül választottam ki az NGC 6834-et az alábbi szempontok szerint:

**Látszó méret:** a Szegedi Csillagvizsgáló fotometriai rendszere  $17 \times 11'$ -es látómezővel bír, így fontos volt olyan halmaz kiválasztása, amely látszó mérete ennél kisebb.

**Láthatóság:** az NGC 6834 igen magasan jár a horizont felett nyáron, így ez az évszak ideális a láthatóság szempontjából. Fotometriai méréseknél fontos a lehető legkisebb zenittávolság, hiszen geometriai okok miatt ilyenkor legkisebbek a légköri extinkciós hatások.

**Feldolgozottság:** összesen 6 db, közvetlenül az NGC 6834-gyel foglalkozó cikket találtam a szakirodalomban. Változócsillag felmérést egyik cikkben sem említene, e téren tehát újdonságnak számít dolgozatom. A halmazparamétereket viszont szinte minden cikkben meghatározták, így ezekkel össze lehet hasonlítani saját eredményeimet.

## 2. Használt műszerek

Optika	
Optikai elrendezés	Newton
Főtükör átmérője	400 mm
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 Chip	Kodak KAF-0402ME + TI TC-237
Pixel szám	$765 \times 510 (RA \times DEC)$
Pixel méret	$9 \times 9 \mu$
Látómező	$17' \times 11'$
Felbontás	1,33"/pixel
Szűrők	Johnson $UBVR_c I_c$

1. táblázat. Az alkalmazott műszerrendszer adatai.

Méréseimet 2010.06.09-07.11. között összesen hét éjszakán végeztem el a Szegedi Csillagvizsgálóban, a csillagda 40 cm apertúrájú Newton távcsövével. Június 9. éjjelén tesztképeket vettem fel az NGC 6834-ről, *BVRI* szűrőkön keresztül. Két nap múlva további három halmazról készítettem tesztképeket. Július első felében, öt éjszakán változócsillag keresés és fénygörbék felvétele céljából készültek *V* és *I* szűrős képek.

## 2.1. Távcső

A Newton típusú tükrös távcső egyike a legrégebb óta használt csillagászati leképező rendszereknek. Nevét onnan kapta, hogy Isaac Newton készített először ilyen távcsövet. A rendszer lelke a nagy pontossággal csiszolt homorú felületű parabolatükör, vagy más néven főtükör. A távcsőtubus belsejében a főtükör tengelyével 45 fokos szöget bezáró sík segédtükör vezeti ki a főtükör által összegyűjtött fénysugarakat a távcsövön kívülre.



(a) Az épület



(b) A főműszer

3. ábra. A Szegedi Csillagvizsgáló.

## 2.2. CCD kamera

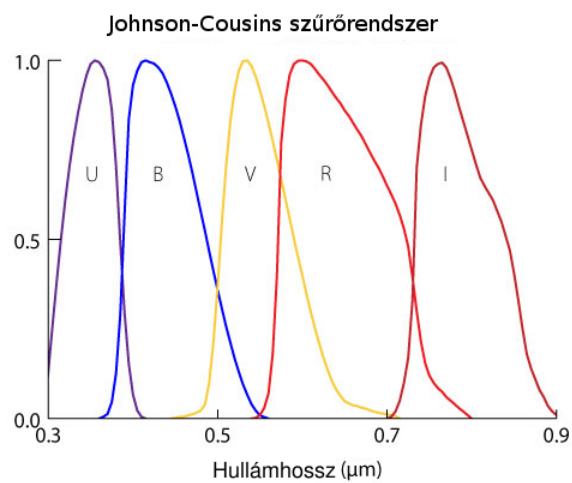
Szemünk korlátolt érzékenysége és szubjektivitása miatt a tudományos életben szükségessé vált megfelelő detektorok kifejlesztése. Ilyen a ma igen széles körben alkalmazott CCD-technika, melyet 1969-ben Williard Boyle és George Smith fejlesztett ki a Bell Labsnál. Eredetileg egy képtelefont szerettek volna kifejleszteni. 2009-ben megosztott fizikai Nobel-díjat kaptak találmányukért. A Szegedi Csillagvizsgálóban egy SBIG ST-7-es CCD kamerával rögzítjük a távcső által alkotott képet, a fényt elektromos jellé alakítva. A CCD chip (Charge Coupled Device, töltéscsatolt eszköz) néhány mikronos mátrixelrendezésű pixeljei fényre érzékenyek. Működésének alapja a fotoeffektus elve, azaz ha megfelelően nagy frekvenciájú elektromágneses sugárzás ér

egy fényre érzékeny felületet (fotodióda), akkor a becsapódó fotonok hatására elektronok válnak ki (fotoelektronok). CCD chipekben leggyakrabban szennyezett szilícium félvezető réteg biztosítja az elektronokat. A tiszta szilícium négy vegyértékelektronnal rendelkezik, minden atom négy másik atommal kapcsolódik össze, létrehozva a kristályrácsos szerkezetet. Ha a kristály kialakításakor például három vegyértékelektronnal rendelkező atomokat juttatunk a szilíciumatomok közé, akkor ezek kapcsolódásakor csak három teljes értékű kötés alakul ki. Így megmarad egy szabad elektron, amely mellett, egy a környezetéhez képest pozitív töltésű lyuk keletkezik (p típusú szennyezés). A szennyezett réteg emiatt elektromos vezetővé ún. félvezetővé válik, mozgóerő hatására elektronok áramolhatnak a vezetési (valencia) sávban. Az elektródákra adott megfelelő nagyságú feszültségekkel a potenciálgödrökbe zárt töltéscsomagokat végig tudjuk léptetni egy pixeloron a kiolvasó egység felé. Minden pixelhez a benne összegyűlt töltésmennyiséggel arányos fény mennyiséget rendelve, kialakul az eredeti fényforrás képe. Ez digitális információ, számítógép segítségével könnyen feldolgozható.

### **2.3. Standard fényszűrők**

Fotometriai szűrőrendszerek segítségével a fénynek csak bizonyos hullámhosszú komponenseit engedjük át az optikai rendszeren (egyszerre egyet). A mért fényességek többféle, a mért objektumtól független jellel is terheltek. Ez függhet például az alkalmazott detektor, szűrőrendszer típusától, a távcső méretétől. A csillagok fénye a légkörön keresztül jut el a detektor felszínére, ezért erősen befolyásoló tényező az alkalmazott műszereken túl a légkör állapota, valamint a mért objektum horizont fölötti magassága is (bővebben az extinkciós korrekció részben). Annak érdekében, hogy standard fényességeket kapjunk, el kell végezni a mérési adatsoron az ún. standard korrekciót. Ehhez standard fotometriai szűrőket kell használni, melyek jól meghatározott átteresztési függvényekkel rendelkeznek.

Méréseim során a Johnson szélessávú (kb.  $90 \text{ \AA}$ ) szűrőrendszer VRI szűrőit használtam. 2010.06.09-i estén *B, V, R, I* szűrőkben vettem fel több sorozatot. Később kiderült, hogy a B szűrős képek az alacsony jel/zaj arány miatt sajnos használhatatlanok.



4. ábra. Az alkalmazott szűrőrendszer áteresztése.

Típus, összesen [db]	'10.06.09	'10.07.02	'10.07.04	'10.07.09	'10.07.10	'10.07.11
Bias, 51	11	10	0	10	10	10
Dark (50s), 22	3	5	5	5	4	0
Dark (80s), 28	3	5	5	5	4	5
Flat (B), 4	4	0	0	0	0	0
Flat (V), 52	5	8	15	12	0	12
Flat (R), 5	5	0	0	0	0	0
Flat (I), 38	4	8	14	12	0	0
NGC 6834 (B), 28	28	0	0	0	0	0
NGC 6834 (V), 470	28	82	86	104	90	80
NGC 6834 (R), 28	28	0	0	0	0	0
NGC 6834 (I), 393	28	86	86	104	89	0
Landolt PG1633 (V), 4	4	0	0	0	0	0
Landolt PG1633 (R), 4	4	0	0	0	0	0
Landolt PG1633 (I), 4	4	0	0	0	0	0

2. táblázat. A mérések összefoglalása



### 3. Adatredukciók, képfeldolgozás

Bizonyos alapkorrekciókat el kell végeznünk a CCD-s méréseken ahhoz, hogy tudományos minőségű és értékű eredményeket kapjunk a későbbi kiértékelés után. Az alant részletezett képredukciókat az **IRAF** - Image Reduction and Analysis Facility<sup>1</sup> nevű igen összetett programcsomag megfelelő alprogramjaival végeztem (ún. taszkokkal).

*Bias:* Az elektronokat különböző potenciálok segítségével léptetjük, olvassuk ki a kamerából. Egy felvétel készítése után, ha kiolvasunk egy null-expozíciós idejű képet tapasztalni fogunk egy alacsony jelszintet, ami a kamera offset-jének felel meg. Ez a léptetést segítő előfeszültség hatására jelenik meg.

*Dark:* A CCD chip félvezető rétegéből hőmérséklet hatására is válhatnak ki elektronok, ezt korrigáljuk az ún. sötét, vagy dark képpel. Mivel az egyes pixelekből kivált elektronok száma arányos a hőmérséklettel és az expozíciós idővel, dark-korrekciós képeket is ugyanolyan hőmérsékleten és ugyanakkora megvilágítási idő mellett kell felvenni, mint az objektumképeket. Dark képek készítésekor a kamera rekesze zárva van, fény nem éri a chipet (innen a neve is).

*Flat:* A világos, vagy flat-field képekkel a megvilágítással összefüggő effektusokat korrigáljuk. A CCD kamera pixeljeinek érzékenysége különböző, ha homogén intenzitás eloszlású fény éri őket nem azonos jellel reagálnak. Fontos emiatt (is), hogy flat-field korrekcióhoz használt terület homogén megvilágítású legyen, ideális ehhez az alkonyi vagy hajnali égbolt. Fontos továbbá a világos képeket szűrőnként felvenni, hiszen az egyes szűrőkön egyrészt eltérő struktúrájú szennyeződések lehetnek, másrészt a pixelek érzékenysége hullámhosszfüggő is. Mindig olyan szűrős flat-field képeket készítettem, amilyen szűrőkön keresztül megfigyeltem a nyílthalmazt.

---

<sup>1</sup><http://iraf.noao.edu>

Redukálási eljárás		
Lépés	Átlagolás módja	Redukálendő képtípus
Bias	matematikai átlag	Dark, Flat, Objektum
Dark	matematikai átlag	Flat, Objektum
Flat	medián átlag	Objektum

3. táblázat.



(a) Bias

(b) Dark

(c) IFlat

5. ábra. Átlagolt alapszint- és sötét képek, medián átlagolt, I-szűrős világos kép.

## 4. WCS transzformáció

### 4.1. A módszerről

WCS: World Coordinate System -Világkoordináta Rendszer

Az ún. világkoordináta-rendszer kapcsolatot ír le az égi koordináták, úgy mint rektaszcenzió és deklináció, és a képpkoordináták között. Egy helyesen WCS transzformált képen meg tudjuk mondani az adott pixel égi koordinátáit is. Megfelelően pontos vezetés mellett a csillagok x és y koordinátái képről-képre változatlanok lehetnek, viszont ez vezetési pontatlanságok miatt a gyakorlatban nem valósul meg. A WCS transzformáció célja, hogy egy a képpkoordinátáktól független rendszerben tudjuk megadni az egyes csillagok helyzetét. A csillagok II. számú egyenlítői rendszerbeli koordinátái (RA és DEC) állandóak, ezt használtam ki munkám során. Az C programnyelven írt programjaim így az égi koordináták alapján azonosítják az egyes képeken a csillagokat, erről később még bővebben lesz szó. A felvételek transzformálásához a Doug Mink által fejlesztett **WCSTools**<sup>2</sup> nevű programcsomag *imwcs* nevű programját használtam.

A transzformáció folyamata [9]:

1. Beolvassuk a fits képet és annak header-jét.
2. Csillagkeresést hajtunk végre, a talált csillagokat fényesség szerint rendezzük, ami x-y koordinátapárokat ad.
3. Az *imwcs* egy referencia katalógusban megkeresi azokat a csillagokat, amelyek az adott égterületen találhatóak. RA-DEC koordinátapárokat ad.
4. A program összehasonlítja a kép- és a katalógus-listát.
5. A program egy standard WCS függvényt illeszt az egyezések alapján.
6. Hozzáadja a WCS információkat a kép fejlécéhez.
7. Létrehozza a WCS transzformált képet és annak header-jét.

---

<sup>2</sup><http://tdc-www.harvard.edu/wcstools>

## 4.2. Gyakorlati megvalósítás

A helyes transzformációhoz megfelelő tájolásúnak kell lennie a képnek, először ezt ellenőriztem egy megfelelő DSS kép alapján. Az alkalmazott távcsőrendszer fordított állású képet ad, ezért először elforgattam a képeket az *imrot* nevű WCSTools szubrutinnal. Ezután az IRAF noao/digi/dao *daofind* taskját használva előállítottam a WCS transzformáció alapjaként szolgáló kép-koordináta listát. Ezután egy shell szkript WCS-be transzformálja a képeket a következő parancssor alapján:

```
imwcs -c ua2 -p 1.333 -h 100 -q ipt -j 19:52:13.6 29:23:25.66 -wvd kepnev.coo.1 kepnev
```

A kapcsolók magyarázata:

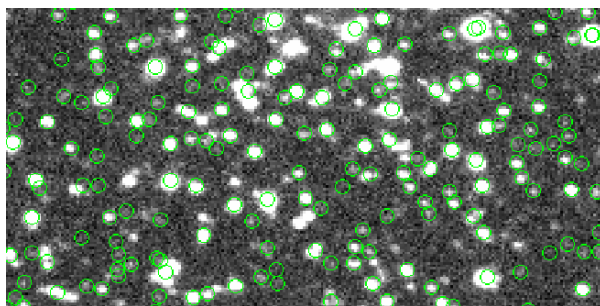
- c: ezzel a kapcsolóval lehet megadni a referenciakatalógust. Én az *USNOA2*<sup>3</sup> nevűt használtam, erre utal az ua2 rövidítés
- p: "plate scale" [ívmásodperc/pixel], egy pixel látómezeje az alkalmazott optikai rendszerben
- h: maximum hány csillagot használjon a referenciakatalógusból
- q: opcionális lépések <i>terate, <p>olynomial, <t>olerance
- j: az imwcs ezen koordináták alapján azonosítja be az égterületet, ez a kép közepe
- wvd: az egyes betűk jelentése rendre: hozzon létre új fájlt vagy headert, jelenítse meg az aktuális folyamatokat, daofind által létrehozott kép listát adunk be.

Ha rendben lefutott az imwcs, létrejönnek a WCS transzformált képek.

Következő lépésként kiválasztottam egy olyan transzformált képet, amelyen középen helyezkedik el a nyílthalmaz és lekértem az égterületen található csillagok RA-DEC listáját. Ez összesen 717 db csillagot jelent, a későbbiekben részletezett csillagkereső programomnak ez volt a „mesterlistája”. Pontatlan vezetés mellett a csillagok x és y koordinátái képről képre változnak, mivel a mechanika nem követi pontosan az égbolt elfordulását. A fotometriai taszkok képkoordinátákat használnak, így először ezt a mesterlistát kép-koordinátákká kellett alakítanom. A WCSTools tartalmaz egy *sky2xy*

---

<sup>3</sup><http://tdcwww.harvard.edu/catalogs/ua2.html>



6. ábra. Egy WCS transzformált, I-szűrős kép részlete. A zöld karikák jelzik azokat a koordinátákat, amelyeken csillag helyezkedik el az USNOA2 katalógus szerint.

nevű programot, amely segítségével a beadott égi koordinátákat egy WCS rendszerbe transzformált kép alapján x és y koordinátapárokká alakíthatunk. Az imwcs futásakor a képek fejléceibe íródtak a lemezkonstansok, a sky2xy ezeket használja fel a számológépekhez. Mivel a képek között látómező csúszások is vannak, a konvertálás után lesznek a látómezőről „lelógó” csillagok is.

## 5. Fényességmérés

### 5.1. Apertúra fotometria

#### 5.1.1. A módszerről

Apertúra fotometria során a csillag közepe körül definiálunk egy kör alakú apertúrát és az ezen belüli pixelek intenzitását összeadjuk. Az így kapott mennyiség arányos lesz a csillag fényességével.

$$F_{Teljes} = \sum_i^n F_i \quad (10)$$

Az égi háttérből is származik elektromágneses sugárzás, ez is hozzáadódik a csillag fluxusához. Ennek korrekciójához a csillag közepe körül felvesszünk egy körgyűrű alakú apertúrát is és meghatározzuk az ezen belüli pixelek átlagértékét. Legyen  $n$  db pixelünk,  $\langle F_b \rangle$  átlagos értékkel. Ekkor a mért objektum fluxusa a következő lesz:

$$F_{Obj} = F_{Teljes} - F_B = \sum_i^n F_i - n \langle F_b \rangle \quad (11)$$

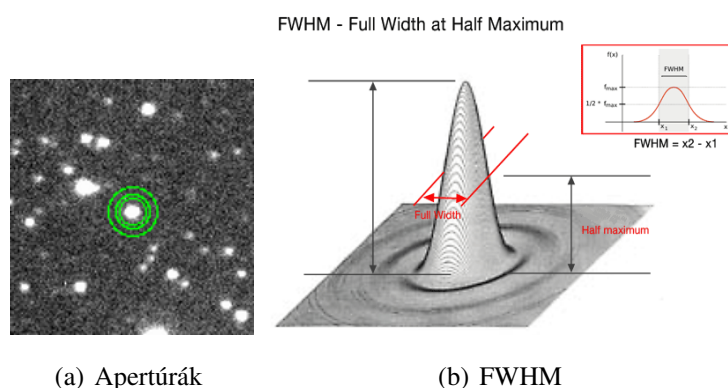
Így a csillag instrumentális fényessége:

$$M = -2,5 \lg \left( \sum_i^n F_i - n \langle F_b \rangle \right) \quad (12)$$

Az észlelt fluxus függ a természetes mérőrendszertől (távcső - *tel*, detektor - *det*, szűrők - *filter*, légkör - *atm*), így egyedi mennyiség, más rendszerekben felvett szintén instrumentális értékekkel nem összemérhető.

$$F_\lambda^{obs} = \int_0^\infty \phi_{atm}(\lambda) \cdot \phi_{tel}(\lambda) \cdot \phi_{filter}(\lambda) \cdot \phi_{detect}(\lambda) \cdot F_\lambda^{csillag} d\lambda \quad (13)$$

Fontos a nemzetközi szűrőrendszerek használata, a megfelelő transzformációs egyenletek megoldása. Erről később bővebben lesz szó. A csillagprofilok átmérőit az ún. félértékszélességükkel, idegen kifejezéssel *FWHM* (Full Width at Half Maximum) jellemezhetjük. Ez erősen függ a légkör állapotától (is). Egy nyugtalan, turbulens áramlásokkal teli levegőtömeg a rajta keresztül haladó fénynyalábot „elkeni”, a csillagprofilok kiterjedtebbek lesznek, megnő az *FWHM*-ük.



7. ábra. Ideális apertúra arányok. A külső gyűrű az égi háttér, a belső kör pedig a csillag fényességének mérésére szolgál. A félértékszélesség jelentése.

A földi légkör igen dinamikusan változik, a seeing és az átlátszóság akár két kép elkészülte között is jelentősen változhat, ezért fontos a helyes apertúraméret megválasztása. Ahogy növeljük az apertúra méretét a csillagfény egyre nagyobb hányadát fogjuk mérni, viszont egy maximális jel/zaj elérése után romlani fog a fotometriai pontosság. Nagy apertúraméretnél az égi háttér és a kozmikus sugarak már jelentős zajt eredményeznek, konstans jel mellett (kiléptünk a csillagprofilból).

### 5.1.2. Gyakorlati megvalósítás

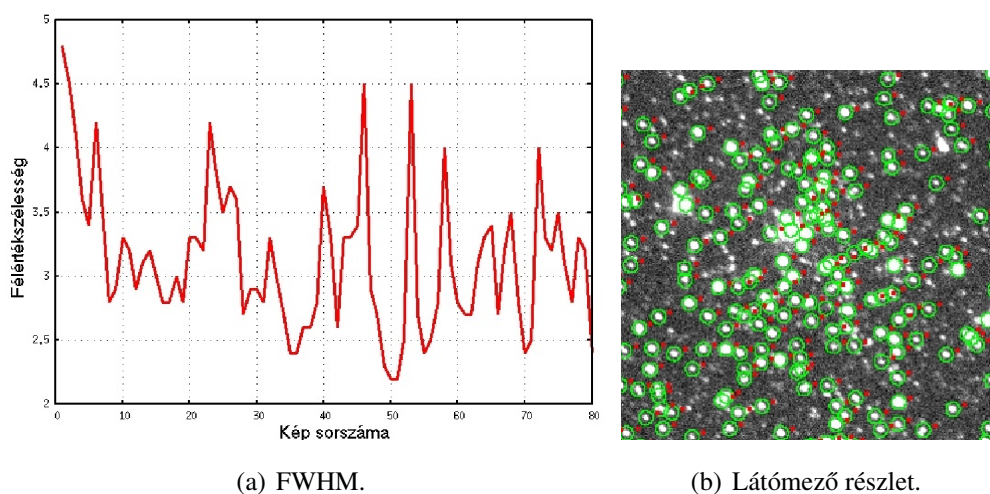
A csillagprofilok átmérői képről képre változnak, ezért egy bizonyos nagyságú apertúrával számolni az összes képen helytelen eredményre vezethet. Az IRAF *imexamine* nevű taszkjával először meghatároztam minden képre a megfelelő bemenő paramétereket: a kép neve (NAME), a égi háttér átlagos értéke (SKY), annak szórása (STDEV) és a csillagok átlagos félértékszélessége (DIRECT). Az FWHM meghatározásához több lehetőségünk is van, például egy illesztett függvény szélességét is vehetjük. Én a csillagprofilok valós, direkt értékével számoltam. Az apertúra fotometria elvégzéséhez az IRAF noao/digi/dao *phot* taszkját használtam. Fontosabb bemenő paraméterek:

- image: képnév
- coords: az előzőekben kiszámolt, képről képre változó koordináta-listákat tartalmazó képnév.coo.2 végződésű fájl. A fotometriai apertúrák pixelcentruma.

- fwhmps: a csillagok félértékszélessége
- datamin: meghatározhatjuk, hogy minimum mekkora intenzitást elérő pixeleket vegyen az integrálásba
- sigma: az égi háttér átlagos szórása
- treshold: a forrás detektálásának küszöbe
- annulus: az égi háttér átlagát meghatározó körgyűrű belső sugara pixelekben
- dannulus: ennek a gyűrűnek a vastagsága pixelekben
- apertur: a csillagot lefedő apertúra sugara pixelekben.

A legyártott IRAF fájlt futtatva létrejön minden képhez egy mag.1 kiterjesztésű fájl, ami rengeteg egyéb adat mellett tartalmazza a csillagok apertúra fotometriával meghatározott instrumentális fényességeit is. Sűrű csillagmező („crowded field”) esetén egymásba érnek a csillagprofilok, így a pixelértékek összegzését felhasználó apertúra fotometriát csak kezdő iterációs lépésként használják a PSF fotometriához. Megjegyzendő azonban, hogy ahol csak lehet, az apertúra fotometria használata a javasolt, mivel valós pixelértékekkel számol. Az NGC 6834 LM-je csak közepesen zsúfolt, így akár PSF fotometria nélkül is pontosan meghatározhatjuk több egyedi csillag fényességét.





8. ábra. A két legfontosabb képről képre változó tényező. FWHM: látható, hogy a csillagprofilok félértékszélessége erősen változik egy éjszaka alatt is. LM helyzete: A zöld karikák az adott képhez, a piros pöttyök pedig egy két expozícióval későbbi képhez tartozó koordinátapárokat jelölik. Látható az eltérés.

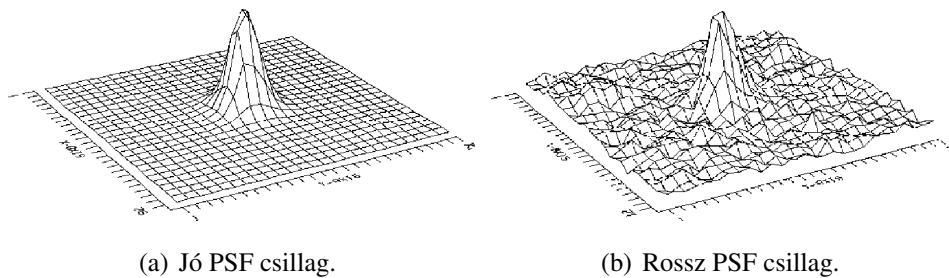
## 5.2. PSF fotometria

### 5.2.1. A módszerről

A PSF fotometria során (Point Spread Function, pontkiszélesedési függvény) az alkalmazott rendszer átviteli függvényét határozzuk meg pontszerű forrásra vonatkoztatva. Ideális esetben, a légkörön túl ez a diffrakciós kép lenne, viszont sztochasztikus hibák miatt (optika pontatlansága, légköri instabilitás) fellép a fényszórás jelensége, az eredetileg pontszerű fényforrás kiterjed. Ekkor a csillagprofilok egy függvény forgatásával nyert felülettel közelíthetőek. Több magányos, viszonylag fényes csillag profilját átlagolva, majd erre analitikus függvényt illesztve meghatározhatjuk a képhez tartozó PSF-et. Az illesztett függvény alakja csillagról csillagra ugyanaz, az amplitúdója függ a csillag fényességétől. Az egy csillaghoz tartozó PSF térfogati integrálja a csillag fényességével lesz arányos, ezen alapul maga a módszer. Zsúfolt égterületeken az egymásba lógó csillagprofilok miatt ezt használjuk apertúra fotometria helyett.

### 5.2.2. PSF csillagok válogatása, a PSF meghatározása képenként

IRAF-on belül a `noao/digi/dao` *psselect* taszkkal lehet kiválasztani a megfelelő PSF csillagokat. Tapasztalataim szerint ezen taszk működése általában nem megfelelő, gyakran előfordul hogy a PSF fotometriához nem megfelelő csillagokat választ ki, például túl alacsony jel/zaj viszonyú, vagy egymáshoz túl közeli, esetleg összeolvadó profilú objektumokat választ. A következő ábrákon demonstrálom a jó és a rossz psf csillagok ismérveit.



9. ábra. A csillagok mesh-profiljának (3 dimenzióban ábrázolt intenzitáseloszlás, minimum-maximum lineáris skálázással) vonalvezetéséből megfigyelhetjük a háttérzaj szerkezetét. A jó PSF csillagnál a nagy jel/zaj arány miatt látszólag eltűnik a zaj.

A *psselect* taszk kihagyása érdekében 50 fényesebb, magányos csillag égi koordinátáinak meghatározása után egy C nyelven megírt programmal elvégeztem a szelekciót minden képre. Az apertúra fotometria során kapott fájlokból megfelelő formátumú fájlokba válogattam ki ezen 50 csillag képkoordinátáit, instrumentális fényességeit, és a hozzájuk tartozó háttér értékeket.

### 5.2.3. Az összes csillag PSF fotometriája

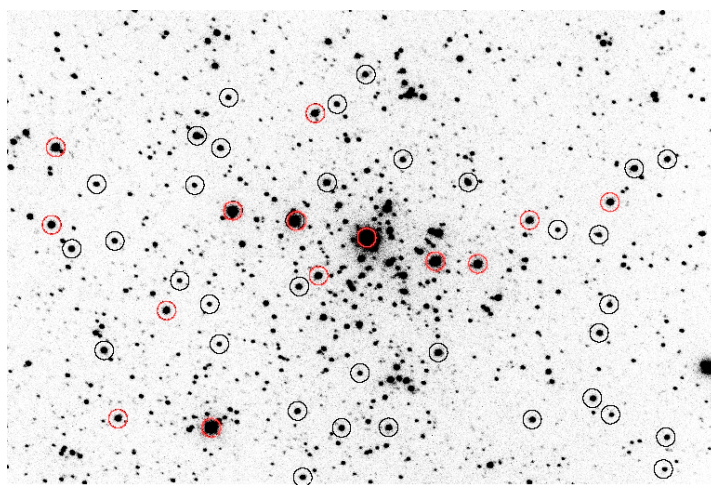
A csillagok válogatása után az IRAF `noao/digi/dao` *psf* taszk segítségével meghatároztam az illesztendő függvény alakját. Ezt a taszkot is szkripttel vezéreltem, először interaktívan futtatva azt.

Fontosabb beállítandó paraméterek:

- `fwhmps`: a csillagok félértékszélessége

- datamin: meghatározhatjuk, hogy minimum mekkora intenzitást elérő pixeleket vegyen az integrálásba
- psfrad: a PSF modell sugara pixelekben
- function: az illesztendő függvény típusa, ezt auto-ra állítottam
- varorde: a PSF modell empirikus komponensének rendje
- fitrad: a csillag illesztésének sugara pixelekben
- sannulu: a háttér illesztésének belső sugara pixelekben
- wsannul: az illesztett gyűrű szélessége.

A taszk futása során egy éjszaka méréseit interaktívan illesztettem, vagyis egy második szelekcióban képenként végignézttem az előzőleg kiválasztott 50 csillag profilját, és ami az adott képen rossznak tűnt, azt kidobtam.



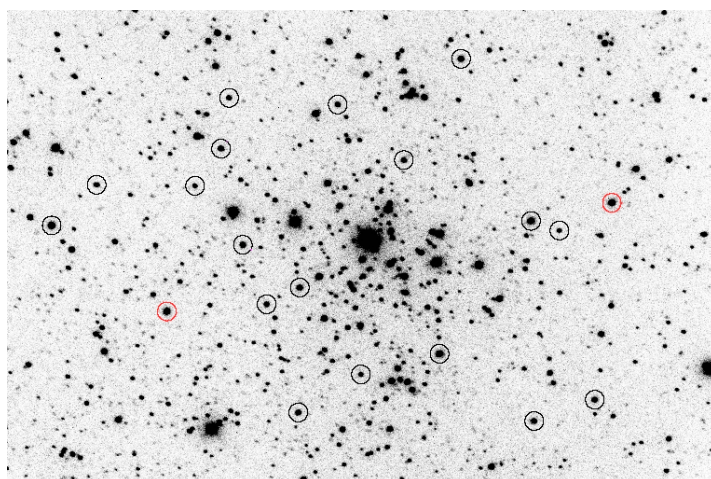
10. ábra. Első körben kiválasztott PSF csillagok a nyílthalmaz látómezejében. Piros körökkel jelölöm az elfogadottakat.

14 csillag kellően stabil profillal rendelkezett, a többi éjszaka képein már ezekkel, nem interaktív módban számoltattam a PSF-et. Az elfogadott csillagok profiljainak átlagolása után 6 féle függvényt illeszthetünk. Kiválaszthatunk egy függvénytípust, vagy

lehetőségünk van dinamikus függvényválasztásra is. Ez azt jelenti, hogy a psf taszk képenként illeszti mind a hat különböző függvénytípust és ahol a legkisebb szórást tapasztalja, azt fogadja el végső analitikus alaknak. Mivel eléggé változtak a csillagprofilok alakjai egy éjszaka is, ez utóbbi utat követtem. Az előzőekben meghatározott PSF-ek illesztésével meghatározhatjuk a koordináta listánkban levő összes csillag fényességét is az IRAF noao/digi/dao *allstar* taszk segítségével. Ennek vezérléséhez szintén szkriptet írtam.

## 6. A differenciális fénygörbék létrehozása

Magyarország asztróklímája differenciális fotometriai módszereket enged meg, amennyiben a csillagok pontos fényváltozásra vagyunk kíváncsiak. Munkám egyik célja változó fényességű csillagok keresése a látómezőben, ehhez differenciális fotometriát használtam. A módszer lényege: egy állandó fényességű csillag instrumentális magnitúdójából vonjuk le egy ismeretlen csillag instrumentális magnitúdóját. A rendszer látómezejében a fényelnyelő hatások homogénnek tekinthetők, így ezen különbség képzésével az extinkciós egyenletek alkalmazása nélkül is leválaszthatjuk mért objektumaink fényességéről a légköri és egyéb műszeres hatásokat, következtethetünk az ismeretlen csillag fényváltozására. Ha több összehasonlító csillag fényváltozásának át-



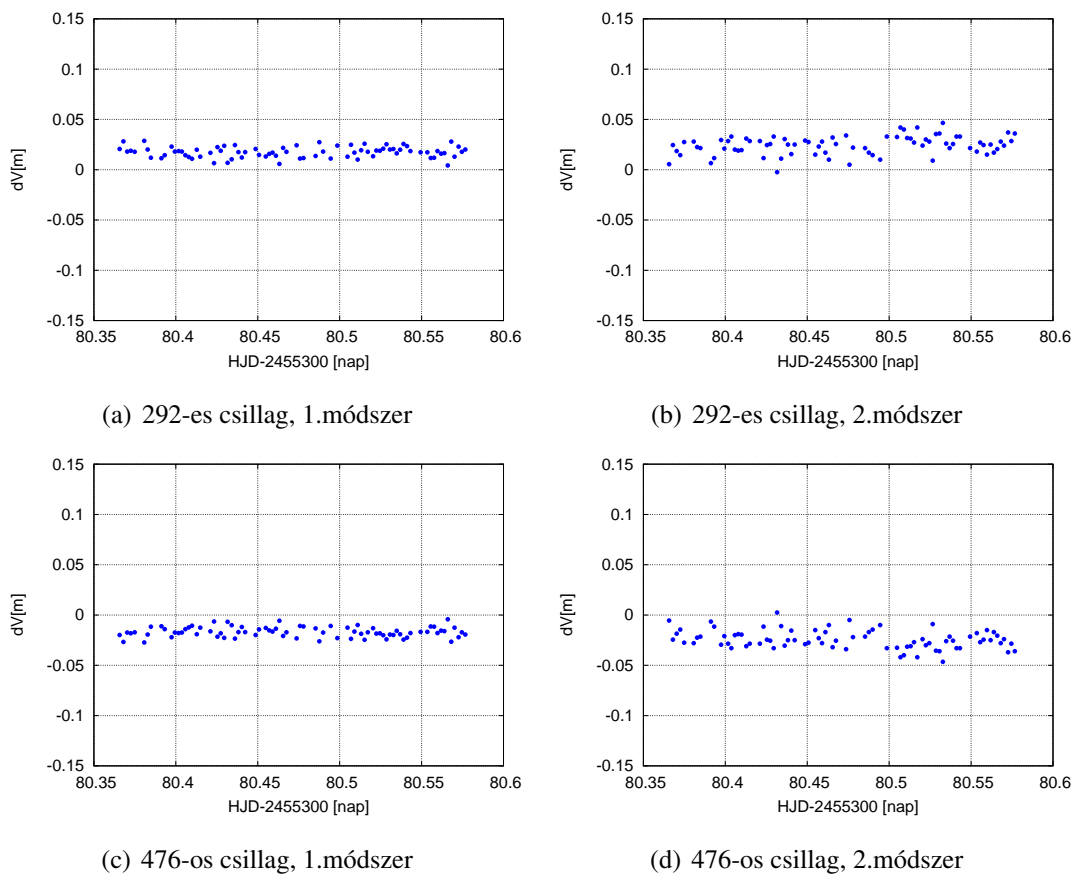
11. ábra. Első körben kiválasztott összehasonlító csillagok a nyílthalmaz látómezejében. Piros körökkel jelölöm az elfogadottakat.

lagával dolgozunk, kikerülhetjük a csillagok ismeretlensége által okozott hibákat is. Ezért először 20 db közel azonos fényességű, egyedül álló, minden képen megtalálható csillag fénygörbéiből elkészítettem az összehasonlító görbét.

Az IRAF által számolt magnitúdókat visszakonvertáltam fluxussá a  $mag = zmag - 2,5 \log(flux) + 2,5 \log(itime)$  összefüggéssel, átlagoltam, és az átlag fluxusokat konvertáltam újra magnitúdóvá, növelve ezzel a fotometriai pontosságot. A halványabb csillagok fényességmérése bizonytalanabb, a logaritmus miatt a kisebb fluxusú csillagok

kisebb súlyt is kapnak az eredő összehasonlító görbében.

Jóságuk tesztelése érdekében belső szórást határoztam meg a következő módon: az előbbiekben létrehozott átlag görbéből levonva az egyedi összehasonlító fényességeit, megnéztem, hogy fényességük mennyire tér el az átlagtól. Ha ez az eltérés elegendően kicsi, akkor állíthatjuk, hogy fényváltozásuk tükrözi az éjszaka fotometriai változásait. Ilyen módszerrel a  $0,^m 01$  szórású fotometriai pontosság lett volna a cél, ezt sajnos nem sikerült elérnem. A 20 kiszemelt csillag közül végül csak néhányat tartottam meg, az így elért belső szórás  $0,^m 02$  körüli (12. ábra, (a) és (c) panelek).



12. ábra.  $dV$  [m]: az átlag összehasonlító görbe - a csillag fényessége  $V$  szűrőben.

Eredményem ellenőrzéseképpen az általam írt programoktól, szkriptektől független módszerrel is meghatároztam az előbbiekben említett belső szórást az első éjszaka mért képeken (12. ábra, (b) és (d) panelek). Először az IRAF *imalign* taszkjának használatá-

val egy kép-koordinátára toltam az összes képet, majd a *phot* taszk segítségével meghatároztam két összehasonlító csillag instrumentális magnitúdóját (az apertúrák nagyságát szintén a félértékszélesség határozza meg). Ugyanúgy vettem az átlagtól való eltérést is. Bal oldalon a dolgozatban bemutatott koordinátatranszformációs módszerekkel, jobb oldalon pedig a képek összetolásával kapott belső szórás szerepel. Látható, hogy az első módszerrel jelentősen jobb a fotometriai pontosság.

## 7. Extinkciós korrekció, standard transzformáció

A horizont felé közeledve a csillagok fénye egyre halványabb és vörösebb, a légkör fényelnyelő és fényszóró tulajdonságai miatt (ahogy a lemenő Nap fénye is vörösödik). Ennek oka az, hogy az alacsony horizont feletti magasságú csillagot vastagabb légrétegen keresztül szemléljük, mint zenitben, a fejünk felett. Ahogy a csillag látszólag egyre jobban a horizont fölé emelkedik, a zenithez közelebb jut, egyre kisebb levegőtömeg halad át fénye, ezáltal egyre több fény jut a detektorra. A csillag emiatt látszólag fényesedni fog. Világos tehát, hogy a légköri fényelnyelést korrigálni kell adatsorainkon. Plánparalel közelítésben az extinkció  $1/\cos Z$ -vel arányosan változik. Cooper és Walker [2] nyomán ez a  $\sec Z$ -nek is nevezett mennyiség (angol szakkifejezéssel élve airmass, magyarul levegőtömeg) felírható az alábbi formula használatával:

$$X = \frac{1}{\cos Z} = \frac{1}{\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos h} \quad (14)$$

$\varphi$  a megfigyelési hely földrajzi szélessége,  $\delta$  a csillag deklinációja,  $h$  pedig az óraszög. WCS transzformáció során, a képek közepének pontos égi koordinátáit írja fejlécebe az *imwcs* program. Ezek felhasználásával, valamint a Szegedi Csillagvizsgáló GPS koordinátáinak beállításával (szélesség, hosszúság, tengerszint feletti magasság) minden egyes képhez az IRAF *asthed* taszkjának segítségével kiszámoltam a levegőtömeget ( $X$ ). A vezérlőfájl bemutatása a Függelékben található. Ellenőrzésképpen kézzel is kiszámoltam az egyik képre, ez az IRAF által számolthoz képest  $\Delta X = 0,0037611$ -nek adódott (átszámolva 12,93 ívperc magasságbeli eltérés).

A levegőtömeg ismeretében végrehajthatjuk az extinkciós korrekciót, az alábbi egyenletek megoldásával:

$$v_0 = v - k'_v \cdot X \quad (15)$$

$$(v - r)_0 = (v - r) - k'_{vr} \cdot X \quad (16)$$

$$(v - i)_0 = (v - i) - k'_{vi} \cdot X \quad (17)$$

Mások eredményeivel való összehasonlítás érdekében szükséges egy nemzetközi fotometriai rendszerbe átszámolni a mért instrumentális fényességeket. Ehhez ismernünk kell a rendszer alappontjait, ismert fényességű standard csillagokat. Az átszámolásnál alkalmazott egyenletek:

$$V - v_0 = \zeta_v \cdot (V - I) + \varepsilon_v \quad (18)$$

$$V - R = \zeta_{vr} \cdot (v - r)_0 + \varepsilon_{vr} \quad (19)$$

$$V - I = \zeta_{vi} \cdot (v - i)_0 + \varepsilon_{vi} \quad (20)$$

Ezek láthatóan különböző zéruspontú és meredekségű egyenesek analitikus formái, így ezeket a konstansokat egyenes illesztéssel határoztam meg. Landolt katalógusának [6] PG1633-as mezejében található 4 db standard csillagot használtam ehhez. Az extinkciós egyenletek megoldásához kiszemeltem egy csillagot, majd vettem ennek fényességeit több, eltérő levegőtömegnél, a három szűrőben külön-külön. Ezeket és a levegőtömegeket behelyettesítve meghatároztam az extinkciós együtthatókat ( $k'_v, k'_{vr}, k'_{vi}$ ). A standard csillagok katalógusbeli adatait és az általam apertúra fotometriával kimért, extinkcióra korrigált, majd csillagonként három képből átlagolt instrumentális magnitúdókat a következő táblázat tartalmazza:

Csillag	$V[m]$	$V - R[m]$	$V - I[m]$	$v_0[m]$	$(v - r)_0[m]$	$(v - i)_0[m]$	$V - v_0[m]$
A	15,256	0,505	1,015	20,258	0,287	0,145	-5,001
B	12,969	0,590	1,090	18,087	0,532	0,385	-5,118
C	13,229	0,618	1,139	18,362	0,603	0,459	-5,134
D	13,691	0,324	0,650	18,891	0,378	0,051	-5,200

4. táblázat. A transzformációs egyenletek megoldásához kiszámolt fényességek. Az A jelű csillag túlságosan halvány, ezért az illesztésből kihagytam.



Ezeket a transzformációs összefüggésekbe helyettesítve, egyenes illesztéssel kiszámoltam a távcsőkonstansokat és a zéruspontokat ( $\zeta_v, \zeta_{vr}, \zeta_{vi}$ , illetve  $\varepsilon_v, \varepsilon_{vr}, \varepsilon_{vi}$ ). A távcsőkonstansok az illesztett egyenesek meredekségei, a zéruspontok pedig az eltolások.

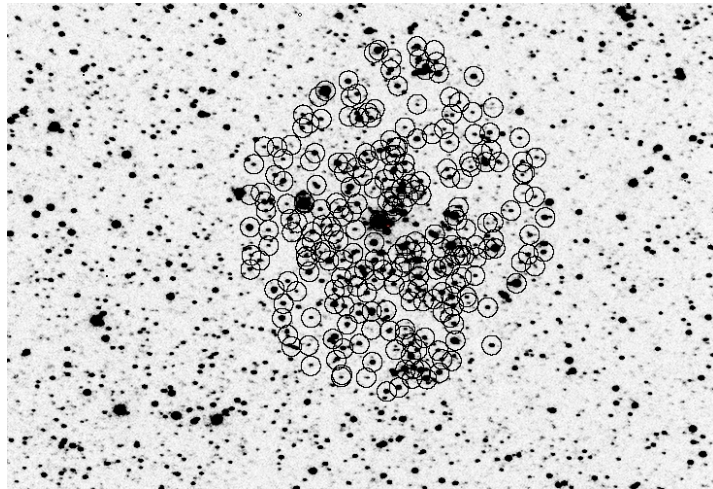
Index	Extinkciós együttható	Távcsőkonstans	Zéruspont
v	$1,0343 \pm 0,1625$	$0,157 \pm 0,0421$	$-5.3017 \pm 0,0041$
vr	$0,2611 \pm 0.2961$	$0,6901 \pm 0,1609$	$0,1523 \pm 0,0848$
vi	$0,4864 \pm 0,2701$	$0,8091 \pm 0,0560$	$0,4762 \pm 0,0552$

5. táblázat. Számolt konstansok és hibáik.

## 8. Eredmények

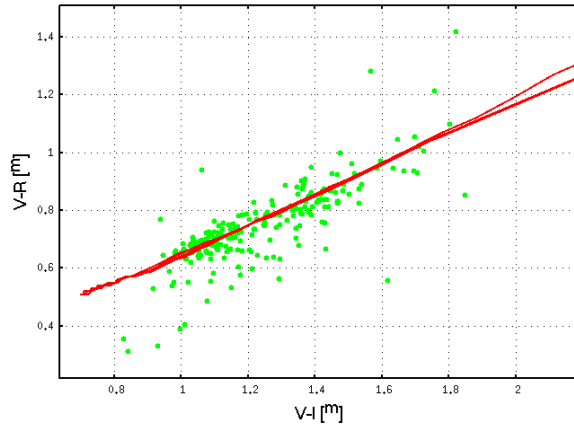
### 8.1. A halmaz szín-fényesség–diagramjai. Evolúciós állapot.

Az előző fejezetben bemutatott módszerekkel meghatároztam a látómezőben levő csillagok standard látszó fényességeit és elkészítettem a szín-fényesség–, valamint a szín–szín–diagramokat. A halmaz korára és távolságára izokrón illesztésével tettem becslést. Ehhez felhasználtam az NGC 6834  $(V-I):V$  szín-fényesség–diagramját, az izokrón görbét pedig Bertelli és munkatársai [1] által készített izokróncsaládból vettem. Korábbi tapasztalatok szerint a Szegedi Csillagvizsgálóból végzett mérésekben a  $V-I$  színindex volt a legstabilabb, ezért választottam ezt.  $Z=0,02$ -es, szoláris fémességet feltételezve a  $\log_{10} t = 8,0$  korú izokrón illeszkedett a legjobban (15. ábra). Megjegyezném, hogy illesztéskor a halmaz szakirodalomban jegyzett középpontja körüli  $4'$  sugárban található csillagokat használtam fel (a halmaz sugara) A  $(V-I)$  eltolás mértékét a  $(V-I):(V-R)$  szín-

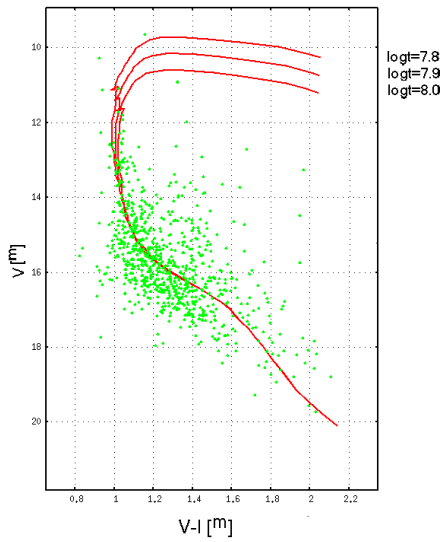


13. ábra. Az izokrón illesztésnél figyelembe vett csillagok.

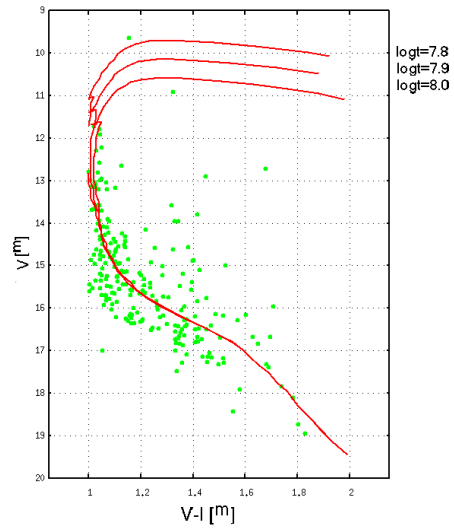
szín–diagram felrajzolásával becsültem (14. ábra). Az elméleti izokrón függőleges eltolása adja ekkor az  $E(V-R)$ -t, vízszintes eltolása pedig az  $E(V-I)$ -t. A kapott  $E(V-I)$  értékkel eltoltam a szín-fényesség–diagramot vízszintesen, majd megbecsültem a függőleges eltolás mértékét is.



14. ábra. Izokrónok a halmaz  $(V-I):(V-R)$  szín-szín-diagramján.



(a) Egész halmaz alapján



(b) Valószínűsíthető méret alapján.

15. ábra. Különböző korú izokrónok a halmaz  $(V-I):V$  szín-fényesség-diagramján.

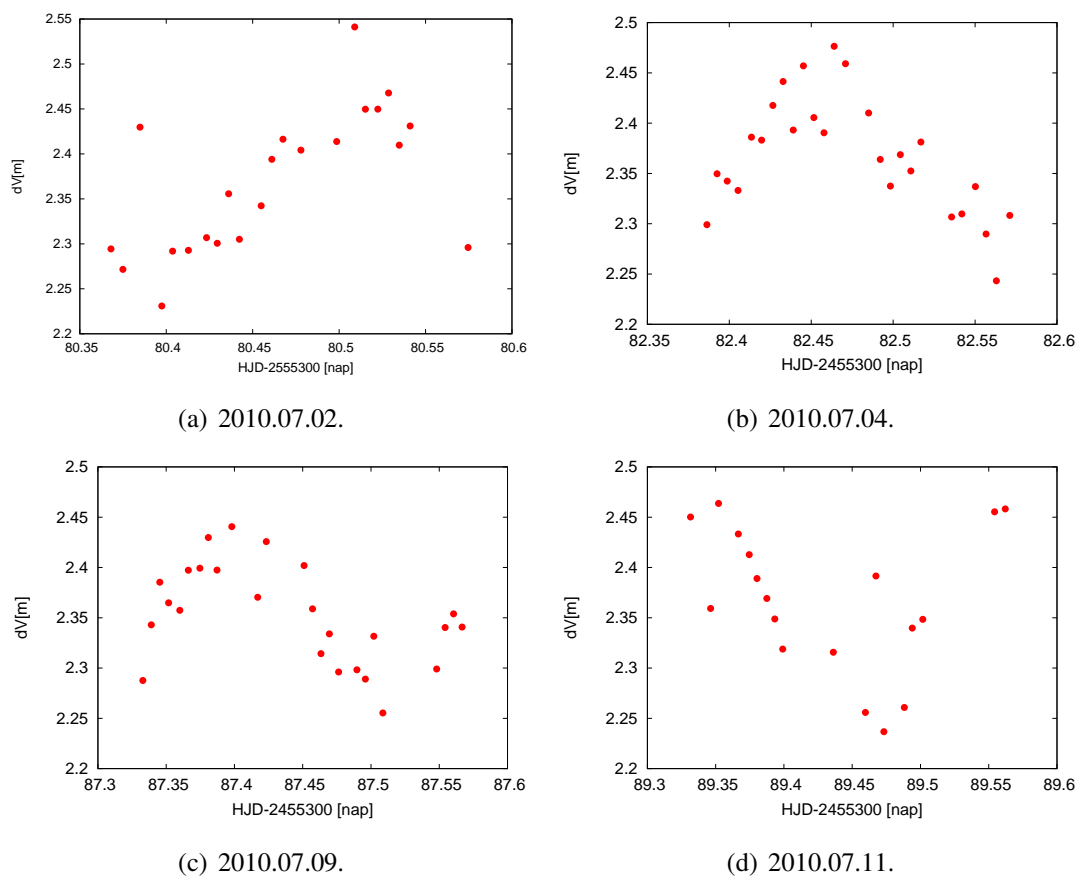
Év	Távcsőapertúra [m]	Módszer	E(B-V) [ <sup>m</sup> ]	$m_V - M_V$ [ <sup>m</sup> ]	d [kpc]	$\log_{10} t$ [év]
1967 [5]	1,2	Fotografikus	0,61	13,44	2,10	-
1972 [10]	0,8	Fotografikus	0,72	11,65	2,14	7,9
2006 [11]	2,0	CCD-s	0,70	13,60	1,93	7,9
2010	0,4	CCD-s	0,71	13,8	2,15	$7,9 \pm 0,1$

6. táblázat. A szakirodalomban elérhető halmazparaméterek összehasonlítása, utolsó sorban szerepelnek az izokrón illesztésből származó saját eredményeim.

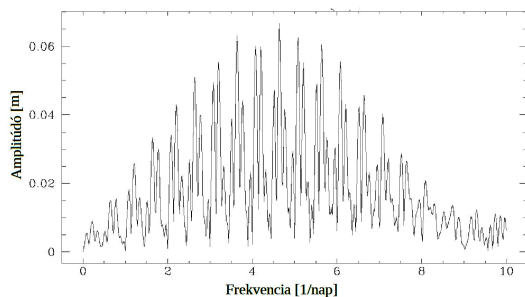
A 15. ábról látszik, hogy NGC 6834 katalógusjelű nyílthalmaz fiatal csillagsoportosulás, hiszen néhány csillag kivételével az összes valószínűsíthető halmaztag a fősorozaton található. A kivételként említett csillagok valószínűleg nagy kezdeti tömeggel rendelkeztek. Elméleti, csillagfejlődési modellekből tudjuk, hogy a nagy tömegű csillagok fejlődése gyorsabb, mint a közepes és a kis tömegű csillagoké. Ha megnézzük az előző táblázatot, látszik, hogy a szakirodalommal jól egyeznek a kapott paraméterek. A vörösödést nehéz pontosan megállapítani, ráadásul (6) miatt ennek hibája egy háromszoros faktorként jelentkezik a távolságmodulusban szereplő  $A_v$  fényelnyelési tag kiszámolásában. Az E(B-V) tagot a Tejútrendszerben érvényes (7) empirikus formula alapján becsültem. Az illesztések vizuálisan történtek. Ennek oka, hogy a halmaz még nem érte el az elfordulási pontját, a fősorozaton pedig nehéz szeparálni az izokrónokat. Az óriáságon található két csillag valószínűleg halmaztag, ezért fogadtam el a  $\log t = 7,9$  korú izokrónt. Az izokrón illesztés hibája így hozzávetőleg  $\pm 0,1$ .

## 8.2. Változókeresés

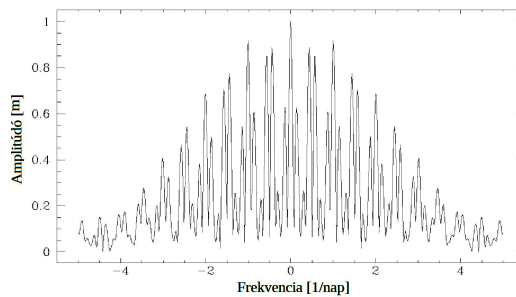
Több éjszakán keresztül figyeltem meg a halmazt, változócsillagok után kutatva. Johnson V és I szűrős felvételeket készítettem a halmazról és környékéről. V szűrős képeket azonosítás, I szűrős képeket pedig  $V-I$  színváltozások megfigyelése miatt készítettem. A fotometriai szűrőkkel tulajdonképpen a csillagok Planck-görbéjét mintavételezzük. Ha kimérjük egy változócsillag fénygörbéjét két különböző hullámhosszra centrált szűrőben, a csillag színváltozásából következtethetünk felszíni hőmérsékletének változásaira is. A leírt módszerekkel egy új változócsillagot találtam a mintában. Standard fényessége 15 magnitúdó körüli, meglehetősen halvány, kisebb pontossággal mérhető csillag, ezért a fénygörbék erősen szórnak.



16. ábra. A 380-as csillag V szűrős fénygörbéje, hármas medián átlagolással.

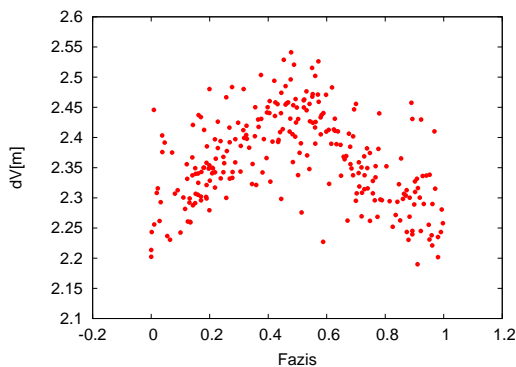


(a) Amplitúdóspektrum.



(b) Spektrálablak.

17. ábra. A 380-as csillag V szűrős fénygörbéjének diszkrét Fourier analízise.  $f=4,639$  1/nap a maximum csúcsához tartozó frekvencia. A fő csúcs mellett erősen jelentkeznek az egy napos aliasok.



(a) Fázisgörbe.  $P=0,215$  nap.

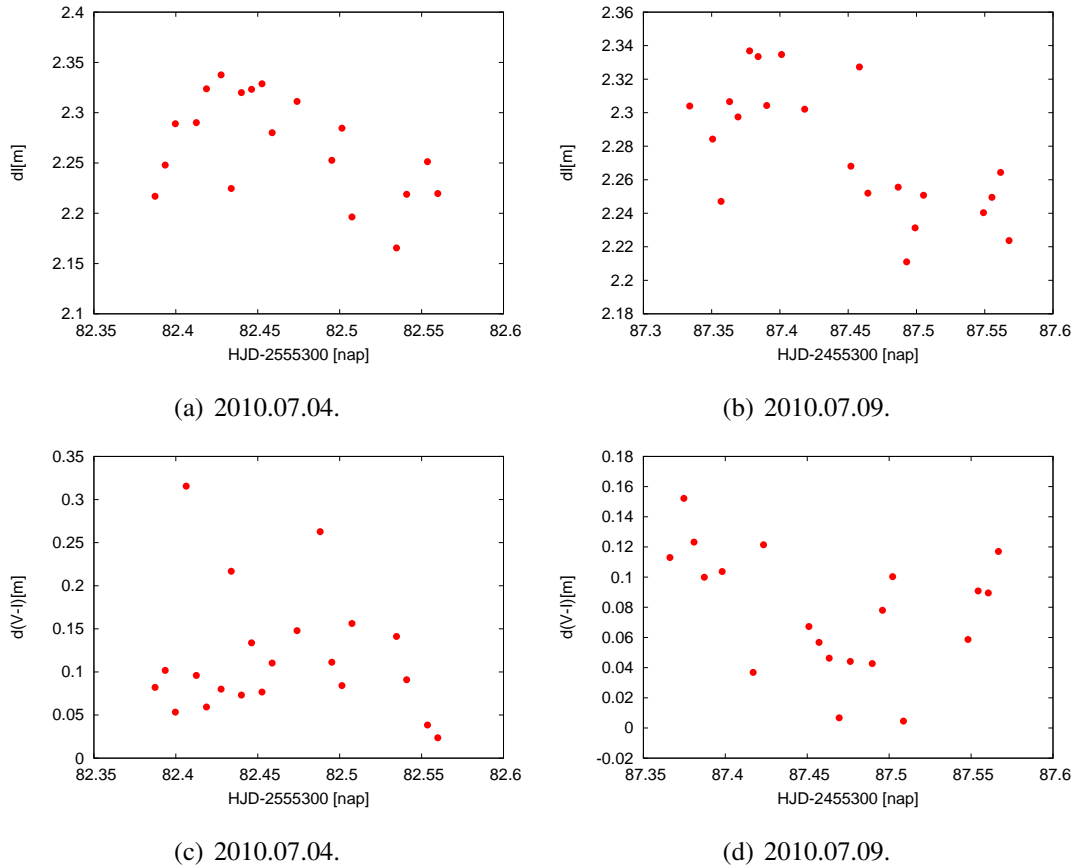
18. ábra.

A 18. ábra mutatja a csillag fázisgörbéjét, a  $P$  periódus a DFT módszerrel meghatározott frekvencia reciproka. Négy éjszaka fázisba rendezett fénygörbéin látszik, hogy valóban változócsillagot találtam. A fénygörbe alakján alapuló változócsillag típusmeghatározás meglehetősen nehéz és több esetben előfordulhat, hogy tévesen határozzuk meg a típust. Az általam talált változócsillag például a fénygörbe alakja, a megfigyelhető periódus és amplitúdó alapján lehet RRc,  $\beta$  Cep,  $\delta$  Scuti (pulzáló) és W UMA (fedési) típusú is. A kérdés eldöntéséhez a többszín-fotometria adhat támpontot. Ha a csillag felszíni hőmérséklete változik, akkor a V-I színindexe is periodikusan változik a fénygörbének megfelelően.

A kettő közötti kapcsolat megközelítőleg <sup>4</sup>:

$$T_{eff} = \frac{9385K}{(V - I) + 0,95} \quad (21)$$

A változó hőmérséklet „lüktető”, ritmikusan táguló és összehúzódó csillagatmoszférát sejtet.



19. ábra. I és V-I fénygörbék, hármes medián átlagolással.

Látszik az ábrákon, hogy bár eléggé szór a V-I színindex görbe időbeli változást mutat. Ez alapján a talált változócsillag valószínűleg pulzáló változó, mert a W UMa kontakt fedési kettősöknél a színindex, illetve a hőmérséklet általában kisebb mértékben változik.

<sup>4</sup><http://www.astro.washington.edu/courses/labs/clearinghouse/labs/Cluster/cluster.html>

## 9. Összefoglalás

Tudományos diákköri dolgozatom témája az NGC 6834 nevű nyílthalmaz fotometriai vizsgálata volt. Dolgozatom elején bemutattam eredményeim megértéséhez szükséges elméleti háttérrel. Munkám leírását fejezetekre tagoltam, melyeken belül először igyekeztem átfogó képet adni az alkalmazott módszerről, majd bemutattam annak gyakorlati megvalósítását.

Johnson (B)VRI szűrős mérések felhasználásával, fotometriai módszerekkel vizsgáltam az NGC 6834 nevű nyílthalmazt és környezetét. Méréseimet hét éjszakán végeztem a Szegedi Csillagvizsgálóban, ebből az első éjszakán elkészítettem a szín-fényesség-diagram felvételéhez szükséges képeket, egy éjszakán másik három nyílthalmazról készültek tesztképek, öt éjszakán pedig változócsillag keresés céljából követtem a halmazt.

A csillagászat egyik sarkalatos pontja a távolságmérés, hiszen a csillagokat térben és halmaztagság szerint szeparálni földi fotometriai módszerekkel igen nehéz. Kiemelném továbbá, hogy az általam vizsgált minta csillagai  $12 - 18^m$  látszó fényességgel viszonylag halványnak mondhatóak. Ennek ellenére kistávcsöves mérésekkel is sikerült meghatároznom a nyílthalmaz fontosabb paramétereit egy  $Z=0,02$  [Fe/H] fémtartalmú izokrón illesztésével. Megadtam a halmaz korát, vörösödését és távolságát; az így kapott értékek jól egyeznek az irodalmi adatokkal. A nyílthalmazok vizsgálatának kitüntetett szerepe van a galaxiskinetikai kutatásokban, fontos ezen égi objektumokat pontosan ismerni. Minél több nyílthalmaz távolságát sikerül megmérni, annál pontosabb képet kaphatunk Galaxisunk térbeli szerkezetéről.

Felfedeztem egy új változócsillagot a vizsgált látómezőben. Meghatároztam a periódusát és a fényváltozási amplitúdóját. Többszín-fotometriával kimutattam, hogy valószínűleg pulzáló változócsillagról van szó.



## Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni Dr. Székely Péternek, hogy elvállalta a témavezetésem. Iránymutató megjegyzéseivel sokat segített a felmerülő technikai kérdések megválaszolásában és a dolgozat végleges formájának kialakításában. Ha megakadtam a munka fonalában, ő mindig segített. Köszönet illeti Dr. Szatmáry Károly egyetemi docenst, csillagász „szakgazdát”, aki lehetővé tette, hogy a Szegedi csillagvizsgáló műszereit hosszabb távon használhassam.

Ezúton is szeretném megköszönni Családomnak mindazt a szeretetet, türelmet és támogatást, amit tőlük kapok. Ha lelkierőm megingott, Édesanyámra mindig számíthattam. Köszönet illeti csoporttársaimat is.

## Hivatkozások

- [1] Bertelli, G. et al. 1994, *Astronomy & Astrophysics*, 106, 275-302
- [2] Cooper, W.A., Walker, E.N. 1994, *Csillagok távcsővégen*, Gondolat Kiadó, Budapest
- [3] Gáspár András 2002, *TDK dolgozat*, SZTE
- [4] Greisen, E.W., Calabretta, M.R. 2002, *Astronomy & Astrophysics*, 395, 1061-1075
- [5] Fünfschilling, H., 1967, *Zeitschrift für Astrophysik*, 66, 440-445
- [6] Landolt, U.A., 1992, *The Astronomical Journal*, 104, 340-491
- [7] Makai Zoltán 2004, *TDK dolgozat*, SZTE
- [8] Marik Miklós szerk. 1989, *Csillagászat*, Akadémia Kiadó, Budapest
- [9] Mink, J.D., 1997, *ASP Conference Series*, 125, 249-252
- [10] Moffat, A.F.J, 1972, *Astronomy & Astrophysics*, 7, 355-383
- [11] Paunzen, E. et al., 2006, *Astronomy & Astrophysics*, 454, 171–178

## 10. Függelék

### 10.1. Saját fejlesztésű programok, szkriptek

- Létrehozok először egy listafájlt, az első korrekciós lépés futása során ilyen néven generálódnak az új képek. A kisbetűs fájlnevek a még feldolgozatlan, a nagybetűs fájlnevek a már feldolgozott képekre utalnak:

```
#!/bin/bash
echo `ls ngc*V*.fit > ngc.v`;
for i in `cat ngc.v`;
do
n=NGC;
yy=`echo $i | awk '{print substr($1,4,13)}'`;
echo "$n"$yy" " >>NGC.v;
done;
```

- **redkalj.cl.** V, I fotometria redukálása: a sötétáram korrekció során új fájlok jönnek létre az előzőekben definiált nomenklatúra szerint. Ha a flat/dark lépések során hibázunk, így nem íródnak felül az eredeti nyers képeink.

```
print '*****CCD Image Reduction to VI Photometry*****'
print ''
print 'Creating lists'
!./rename_V.sh
!./rename_I.sh
ls *Dark*.fit *ngc*.fit > 2zerocor
ls *Dark*80s*.fit > dark80s.list
ls *Dark*50s*.fit > dark50s.list
ls *flat*V*.fit* > vflat.list
ls *flat*I*.fit* > iflat.list
ls *flat*.fit > osszflat.list
print 'Lists are created!'
hoao
print '***Parametization of hedit***'
hedit images=*.fit fields=epoch value=2000.0 addonly+ verify- update+
print '***Hedit OK***'
print ''
print '***Observatory***'
observatory observa='Szeged' image=*.fit name='Szeged' \\  
longitu=-20.15861 latitud=46.23667 altitud=85 timezone=-2
print '***Observatory OK***'
print ''
print '***HJD calculation***'
hoao
astutil
setjd images='*.fit' observa='obspars' date='DATE-OBS' time='TIME-OBS'
exposur='EXPTIME' ra='OBJCTRA' dec='OBJCTDEC' epoch='epoch' utdate+ uttime+
print 'Parametrization is done!'
hoao
imred
ccdred
zerocombine @bias.list output=Zero.fit combine='average' ccdtype="" process-
print '***Zerocombine is done***'
print ''
ccdproc @2zerocor ccdtype="" fixpix- oversca- trim- zerocor+ darkcor- flatcor- zero
=Zero.fit
print '***ZeroCor is done***'
print ''
darkcombine @dark80s.list output=Dark_80s.fit combine='average' ccdtype="" process-
darkcombine @dark50s.list output=Dark_50s.fit combine='average' ccdtype="" process-
print '***Darkcombine is done***'
print ''
ccdproc @ngc.v output="@NGC.v" ccdtype="" fixpix- oversca- trim- zerocor-
darkcor+ flatcor- dark=Dark_80s.fit
ccdproc @ngc.i output="@NGC.i" ccdtype="" fixpix- oversca- trim- zerocor-
darkcor+ flatcor- dark=Dark_50s.fit
```

```

print '***DarkCor is done***'
print ''
flatcombine @vflat.list output=VFlat.fit combine='median' scale='median'
  ccdtype="" process- subsets-
flatcombine @iflat.list output=IFlat.fit combine='median' scale='median'
  ccdtype="" process- subsets-
print '***Flatcombine is done***'
print ''
ccdproc @NGC.v ccdtype="" fixpix- oversca- trim- zerocor- darkcor- flatcor+
  flat=VFlat.fit
ccdproc @NGC.i ccdtype="" fixpix- oversca- trim- zerocor- darkcor- flatcor+
  flat=IFlat.fit
print '***FlatCor is done***'
print ''
print ''

```

- **csillagkeres.cl.** Képek elforgatása, WCS transzformációk alapjául szolgáló képkoordináta lista meghatározása.

```

!imrot -m NGC*.fit
noao
digi
dao
daofind image=NGC*m*.fit fwhmps=2.8 sigma=8 datamin=100 datamax=15000
  gain=EGAIN filter=FILTER exposur=EXPTIME obstime=HJD thresho=15

```

- **runwcs.sh.** WCS transzformáljuk az összes képet.

```

#!/bin/bash
for k in `ls NGC*m*.fit`;
do
echo `imwcs -c ua2 -p 1.333 -h 100 -q ipt -j 19:52:13.6 29:23:25.66
  -wvd "$k".coo.1 "$k"`;
echo `rm "$k"`;
done;

```

- **runair.** Kiszámoljuk a levegőtömegeket a transzformált képekre. MST: mean sidereal time, vagyis átlagos csillagidő. Az IRAF astutil/asthedid taszkjánál kell megadni, mint parancsfájl.

```

epoch = epoch (@'DATE-OBS', @'TIME-OBS')
mst = mst (@'DATE-OBS', @'TIME-OBS', -20.15861)
airmass = airmass (@'RA', @'DEC', mst, 46.23667)
eairmass = eairmass (@'RA', @'DEC', mst, EXPTIME, 46.23667)

```

- **runsky2sky.sh.** WCS transzformált képek alapján kiszámoljuk a mesterlista képkoordinátáit, amelyek képről képre változnak.

```

#!/bin/bash
for k in `ls NGC*mw.fits`;
do
echo `sky2xy -j "$k" @radec_ua2 > "$k".0xy`; #radec-bol xy-ba alakit
echo `awk '{print $5,$6}' "$k".0xy |grep -v "-" > "$k".coo.2`;
#kiszedi a minuszos x,y koordinatakat
done;

```

- **processimex.csh.** Miután imexammal naplóztam a képeket egy, Andre' Moitinho által írt szkripttel létrehoztam a paraméterlistát.

```
#!/bin/csh
#Usage: processimex.csh <imexaminelog>
#Author: Andre' Moitinho
#
rm imex.pars;
awk '{ \
if ($0 ~/NGC6834/) { \
if (n > 0) \
printf("%6s %5.1f %4.1f %4.1f\n", \
nam, sky/nm, sig/nm, fwhm/na) > "imex.pars"; \
nam=substr($3,1,19); n++; next} \
if ($0 ~/STDDEV/){m=1; nm=0;a=0; sky=0; \
sig=0; next} \
if ($0 ~/DIRECT/){m=0; na=0; a=1; fwhm=0; next} \
if (m!=0) {sky+=$3; sig+=$5; nm++; next} \
if (a!=0) {fwhm+=$15; na++; \
print $1, $2 > nam ".coords"} \
} END { printf("%6s %5.1f %4.1f %4.1f\n", \
nam, sky/nm, sig/nm, fwhm/na) > "imex.pars"}' $1
```

- **runphot.sh.** A létrehozott paraméterlista alapján először a phot taszkot vezérlem.

```
#!/bin/bash
rm run_photV.cl;
awk '{print "phot", "image="$1, "coords="$1".coo.2", "fwhmpsf="$4, \
"sigma="$3, "annulus=10", "dannulus=4", \
"apertur="2.0*$4, "output=default", "verify=no"}' imexV.pars >>run_photV.cl;
```

- **clcreate.sh.**

```
#!/bin/bash
echo "!rm *.ltx *.lxy *.2pst1";
for i in `cat fitslist.v`;
do
echo "txdump '$i'.mag.1' ID,OTIME,MAG,MERR > "$i".ltx"; #fenygorbehez kell
echo "txdump '$i'.mag.1' ID,OTIME,MAG,MSKY > "$i".2pst1"; #PSF csillagok
válogatásához
echo "txdump '$i'.mag.1' XCENTER,YCENTER > "$i".lxy"; #x,y koordinatak
ellenorzeskeppen
done;
```

- **clcreatemag.sh.** Ha az apertúra fotometriával meghatározott instrumentális fényességek kellenek.

```
#!/bin/bash
for i in `cat fitslist.v`;
do
echo "!rm "$i".lxy";
echo "txdump '$i'.mag.1' ID,OTIME,MAG,MERR,XAIRMASS > "$i".alstx";
echo "txdump '$i'.mag.1' XCENTER,YCENTER > "$i".lxy";
done;
```

- **txcreate.sh.** Ha tervezzük PSF fotometriát:

```
#!/bin/bash
rm *.lradec *.2tx;
for i in `cat fitslist.v`;
do
echo `xy2sky -d -j "$i" @"$i".lxy | awk '{print $1,$2}' > "$i".lradec`;
echo `paste "$i".lradec "$i".ltx > "$i".2tx`; #als kell
echo `paste "$i".lradec "$i".2pst1 | grep -v "INDEF"> "$i".2pst2`;
done;
```

- **pstgen.c.** Kiválogatjuk a psf csillagokat:

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <math.h>

#define LMAX 20
#define NMAX 200
int main(int argc, char *argv[])
{
    int i, n, m, k, l, z;
    double ra2[LMAX];
    double dec2[LMAX];
    double id2[LMAX];
    char txs[NMAX][50];
    char kepnev[NMAX][50];
    char star_name;
    char lc[50];
    FILE * in;
    FILE * image;
    FILE * lightcurve;
    FILE * oh;

    in = fopen(argv[1], "rt");
    while (fscanf(in, "%s %s\n", &txs[i], &kepnev[i]) != EOF)
        //fotomateriai adatokat tartalmazmo fajl, kepnev
    {
        i++;
        if(i == NMAX ) return i; //ez adja majd a max kep szamot
    }
    fclose (in);
    printf (" %d\n", i);

    oh = fopen (argv[2], "rt");// megnyitjuk a psf csillagok egi koordinatait tartalmazo
        fajlt
    while (fscanf(oh, "%lf %lf %d\n", &ra2[k], &dec2[k], &id2[k]) != EOF) //fajlvegeig
        beolvas
    {
        k++;
        if(k == LMAX ) return k;
    }
    fclose(oh);
    printf (" %d\n", k);

    int immax = i; //valtozo deklaralas
    int maxcoords = 717; //ennyi csillagunk van osszesen
    int ohig = k; //eddig fut majd a legbelso for ciklus
    int id[immax][maxcoords];
    double ra[immax][maxcoords];
    double dec[immax][maxcoords];
    double hjd[immax][maxcoords];
    double mag[immax][maxcoords];
    double msky[immax][maxcoords];

    system("rm NGC*.pst.pre"); //elotakaritas
    for (n=1; n <= immax; n++) //megnyitja az elso fajlt a txs string-tombbol
    {
        if ((image = fopen( txs[n] , "rt"))== NULL)
        {
            fprintf (stderr, " \n End of file-list! \n");
            exit (-1);
        }
        else;
        for (m=1; m <= 717; m++) //az aktualis fajlon belul vegigleped a sorokon es beolvassa
        {
            fscanf(image,"%lf %lf %d %lf %lf %lf\n", &ra[n][m], &dec[n][m], &id[n][m], &hjd[n][m],
            &mag[n][m], &msky[n][m]); // beolvassuk tombbe
            for (z=1; z<=ohig-1; z++)
            {
                if (pow(ra[n][m]-ra2[z],2)+pow(dec[n][m]-dec2[z],2)<=pow(0.00074,2))
                //szuresi feltetel, egy pixel(1.333") sugaru koron belul keres
                {
                    strcpy (lc,kepnev[n]); //letrehozzuk a fileneveket, amik változnak
                    strcat (lc, ".pst.pre");
                    lightcurve = fopen(lc , "at"); //megfelelo fajlnevel nyit
                    fprintf(lightcurve, "%s %d %lf %lf %lf %lf %.7f %.3f %.4f\n", kepnev[n], id[n][m],
                    ra[n][m], dec[n][m], ra2[z], dec2[z], hjd[n][m], mag[n][m], msky[n][m]);
                    fclose (lightcurve);
                }
            }
        }
    }
    else;
}

```

```
}
}
}
```

- **header.** Megfelelő fejléc nélkül a *psf* taszk nem fut le, meg kell adni hogy milyen pontosságú számokkal, mekkora helyközökkel dolgozunk, valamint, hogy az egyes oszlopokban milyen adatokat tárolunk.

```
#N ID      XCENTER   YCENTER   MAG      MSKY
#U ##      pixels    pixels    magnitudes counts
#F %-9d     %-10.3f   %-10.3f   %-12.3f   %-15.7g
#
```

- **runpst.sh.** Rendezem az oszlopokat és a header nevű fejléct belerakom minden fájlba.

```
#!/bin/bash
for k in `cat fitslist.v`;
do
echo `awk '{print $3,$4}' "$k".pst.pre> "$k".2sky`;
echo `sky2xy -j "$k" @"$k".2sky | awk '{print $5,$6}' > "$k".outsky`;
echo `awk '{print $8,$9}' "$k".pst.pre > "$k".egyik`;
echo `awk '{print $2}' "$k".pst.pre > "$k".masik`;
echo `paste "$k".masik "$k".outsky "$k".egyik >"$k".pst.x`;
done;
rm *.egyik *.masik *.2sky *.outsky, *.pst.1;
for i in `cat fitslist.v`;
do
cat header>> "$i".pst.1;
awk '{printf "%-8d %-9.3f %-9.3f %-11.3f %-14.7g\n", $1,$2,$3,$4,$5}'
"$i".pst.x >> "$i".pst.1;
done;
rm *.pst.x ;
```

- **runpsf.sh.** Ezen szkripttel létrehozok minden képhez egy IRAF vezérlő fájlt. Futtatás során betölt egy képet, majd interaktívan psf-et illeszt a létrehozott képnév.pst.1 fájlok alapján.

```
#!/bin/bash
awk '{print "echo \"\" \"display \" $1 \" 1\"\" \"> \"$1\".cl\";\
print "echo \"\" \"unlearn psf\" \"\" \"> \"$1\".cl\";\
print "echo \"\" \"datapars.fwhmpsf=\"$4 \"\" \"> \"$1\".cl\";\
print "echo \"\" \"datapars.sigma=\"$3 \"\" \"> \"$1\".cl\";\
print "echo \"\" \"daopars.psfrad=2.5*$4 \"\" \"> \"$1\".cl\";\
print "echo \"\" \"daopars.function=\\\"auto\\\"\" \"\" \"> \"$1\".cl\";\
print "echo \"\" \"daopars.varorde=2 \"\" \"> \"$1\".cl\";\
print "echo \"\" \"daopars.fitrad=1.5*$4 \"\" \"> \"$1\".cl\";\
print "echo \"\" \"daopars.wsannul=4 \"\" \"> \"$1\".cl\";\
print "echo \"\" \"psf.matchby=yes\" \"\" \"> \"$1\".cl\";\
print "echo \"\" \"psf.pstfile=\\\"default\\\"\" \"\" \"> \"$1\".cl\";\
print "echo \"\" \"psf.interac=yes\" \"\" \"> \"$1\".cl\";\
print "echo \"\" \"psf.image=\\\"$1\\\"\" \"\" \"> \"$1\".cl\";\
print "echo \"\" \"psf.verify=no\" \"\" \"> \"$1\".cl\";\
print "echo \"\" \"psf.update=no\" \"\" \"> \"$1\".cl\";\
print "echo \"\" \"psf.verbose=no\" \"\" \"> \"$1\".cl\";\
print "echo \"\" \"daopars.sannulu=2.5*$4 \"\" \"> \"$1\".cl\"}' imexV.pars > psf.run
chmod 755 psf.run
./psf.run
rm psf.run
```

- `txcreatedat.sh` a `txcreate.sh`-val ellentétben ez nem segédkezik a psf csillagok válogatásában, egyből legyártja a fénygörbe készítéshez szükséges fájlokat.

```
#!/bin/bash
rm *.lradec *.alstx2;
for i in `cat fitslist.v`;
do
echo `xy2sky -d -j "$i" @"$i".lxy | awk '{print $1,$2}' > "$i".lradec`;
echo `paste "$i".lradec "$i".alstx > "$i".alstx2`;
echo `awk '{print $3,$1,$2,$4,$5,$6,$7,$8}' "$i".alstx2 | grep -v "INDEF" > "$i".tx`;
done;
```

- `lgenV.c`. Létrehozzuk a fénygörbét. Az alkalmazott optikai rendszer egy pixel élének látómezeje 1,333" (0,00074 fok). A következő C nyelvű program két pixel sugarú körben keresi a megközelítőleg azonos égi koordinátájú forrásokat. Ha a koordináta-távolság 0,00148 fokon belüli a dolgozat elején leírt USNOA2 mesterlista adott koordinátájához képest (ez két pixel látómezeje), megtaláltuk a csillagot.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <math.h>

#define LMAX 1000
#define NMAX 100
main(int argc, char *argv[])
{
int i, n, m, k, l, z;
double ra2[LMAX];
double dec2[LMAX];
double id2[LMAX];
char txs[NMAX][100];
char star_name;
char lc[50];
FILE * in;
FILE * in2;
FILE * in3;
FILE * image;
FILE * lightcurve;
FILE * oh;

in = fopen(argv[1], "rt");
while (fscanf(in, "%s", &txs[i]) != EOF)
{
i++;
if(i == NMAX ) return i;
}
fclose (in);
printf ("\n Kepek szama: %d", i);

oh = fopen (argv[2], "rt");
while (fscanf(oh, "%d %lf %lf\n", &id2[k], &ra2[k], &dec2[k]) != EOF)
{
k++;
if(k == LMAX ) return k;
}
fclose(oh);
printf ("\n Mesterlista csillagok szama: %d", k);

int immax = i;
int maxcoords = k;
int id[immax][maxcoords];
double ra[immax][maxcoords];
double dec[immax][maxcoords];
double hjd[immax][maxcoords];
double mag[immax][maxcoords];
double merr[immax][maxcoords];
```

```

for (n=1; n <= immax; n++)
{
if ((image = fopen( txs[n] , "rt"))== NULL)
{
fprintf (stderr, " \n Unsuccesful image file opening! \n");
exit (-1);
}
else;
for (m=1; m <= maxcoords; m++)
{
fscanf(image,"%d %lf %lf %lf %lf %lf\n", &id[n][m], &ra[n][m], &dec[n][m],
&hjd[n][m], &mag[n][m], &merr[n][m]);
for (z=1; z<=maxcoords; z++)
{
if (pow(ra2[z]-ra[n][m],2)+pow(dec2[z]-dec[n][m],2)<=pow(0.00148,2))
{
char whichstar[4];
sprintf (whichstar,"%d", id2[z]);
strcpy (lc,"star_");
strcat (lc, whichstar);
strcat (lc, "_ngc6834v");
strcat (lc, ".radec");
lightcurve = fopen(lc , "at");
fprintf(lightcurve, "%s %lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf\n", whichstar, ra[n][m],
dec[n][m], ra2[z], dec2[z], hjd[n][m], mag[n][m], merr[n][m]);
fclose (lightcurve);
}
}
else;
}
}
}
}

```

- **ohflux.c.** Összehasonlító fénygörbe létrehozása. Szükség van egy **ohflux.sh** nevű segéd-szkriptre és egy a képek elkészítésének heliocentrikus Julián dátumát tartalmazó fájlra.

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <math.h>

#define LMAX 1000
#define NMAX 1000
int main(int argc, char *argv[])
{
int i=0, n=0, m=0, k=0, l=0, z=0;
char ohs[NMAX][50];
FILE * oh;
FILE * in;
FILE * image;
int itime=80.0;
int zmag=25.0;
system("./ohflux.sh");
system("rm oh.gorbe");
in = fopen("oh_list2", "rt");
while (fscanf(in, "%s\n", &ohs[i]) != EOF)
{
i++;
if(i == NMAX ) return i;
}
fclose (in);
int ohmax = i;
int immax = 79;
int id[ohmax][immax];
double hjd[ohmax][immax];
double mag[ohmax][immax];
double flux[ohmax][immax];
double sum_flux[immax];
double av_flux[immax];
double av_mag[immax];
double kitev[ohmax][immax];
for (n=0; n < ohmax; n++)
{

```



```

if ((image = fopen(ohs[n], "rt"))== NULL)
{
fprintf(stderr, " \n End of file-list! \n");
exit (-1);
}
else;
for (m=0; m < immax; m++)
{
fscanf(image,"%lf %lf\n", &hjd[n][m], &mag[n][m]);
}
for (m=0; m < immax; m++)
{
for (n=0; n < ohmax; n++)
{
kitev[n][m]=(mag[n][m]-zmag)/-2.5; //kitevot szamol
flux[n][m]=pow(10.0,kitev[n][m])*itime; //fluxust szamol
sum_flux[m]=sum_flux[m]+flux[n][m];
}
}
av_flux[m]=sum_flux[m]/ohmax; //fluxust atlagol
av_mag[m]=zmag-2.5*(log(av_flux[m])/log(10.0))+2.5*(log(itime)/log(10.0));
//visszaszamol magnitudoba
oh=fopen("oh.gorbe", "at");
fprintf(oh,"%lf\n", av_mag[m]);
fclose(oh);
}
system("paste hjds oh.gorbe >ohgorbe"); //hjd-ket tartalmazo fajllal osszeilleszt
}

```

- **ohvon.sh.** A kapott átlagos fénygörbéből levonjuk az egyedi összehasonlító fényességét.

#### Belső szórás meghatározása.

```

#!/bin/bash
rm *.ohdiff *.oh;
for i in `cat oh_list`;
do
awk '{print $6,$7}' "$i" > $i.oh;
paste ohgorbe "$i".oh | awk '{print $1,($4-$2)/2}' >"$i".ohdiff;
done;

```

- **lcdiff.c.** Differenciális fénygörbék létrehozása, az összehasonlító fénygörbében tárolt időpontok alapján. Pontos időpont egyezést keres.

```

#define LMAX 1000
#define NMAX 100
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
main(int argc, char *argv[])
{
int i = 0;
int n;
int l;
int m;
int k=0;

double mag_oh[NMAX];
double hjd_oh[NMAX];
char lc[50];
char txs[LMAX][100];

FILE * in;
FILE * in2;
FILE * image;
FILE * oh;
FILE * diff_lightcurve;
in = fopen(argv[1], "rt");

```

```

while (fscanf(in, "%s", &txs[i]) != EOF)
{
i++;
if(i == LMAX ) return i;
}
fclose (in);
printf ("%d\n", i);
oh = fopen (argv[2], "rt");
while (fscanf(oh, "%lf %lf\n", &hjd_oh[k], &mag_oh[k]) != EOF)
{
k++;
if(k == NMAX ) return k;
}
fclose(oh);
printf ("%d\n", k);

int maxnights = k;
int maxstar = i;
int id[maxstar][maxnights];
double ra[maxstar][maxnights];
double dec[maxstar][maxnights];
double ra2[maxstar][maxnights];
double dec2[maxstar][maxnights];
double hjd[maxstar][maxnights];
double mag[maxstar][maxnights];
double merr[maxstar][maxnights];
double xairmass[maxstar][maxnights];

for (n=0; n < maxstar; n++)
{
if ((image = fopen( txs[n] , "rt"))== NULL)
{
fprintf (stderr, " \n Unsuccesful image file opening! \n");
exit (-1);
}
else;
for (m=0; m < maxnights; m++)
{
fscanf(image,"%d %lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf\n", &id[n][m], &ra[n][m], &dec[n][m],
&ra2[n][m], &dec2[n][m], &hjd[n][m], &mag[n][m], &merr[n][m], &xairmass[n][m]);
for (l=0; l < maxnights; l++)
{
if (hjd_oh[l] == hjd[n][m])
//itt van a program lenyege, ha egyezik az idopont differencialis fotometriat csinal,
//ha nem, megy tovabb
{
char whichstar[4];
sprintf (whichstar,"%d", id[n][m]);
strcpy (lc,"star_");
strcat (lc, whichstar);
strcat (lc, "_ngc6834V");
strcat (lc, ".diff");
diff_lightcurve = fopen( lc , "at");
fprintf(diff_lightcurve, "%s %lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf\n",
whichstar, ra[n][m], dec[n][m], hjd[n][m], hjd_oh[l],
mag[n][m], mag[n][m]-mag_oh[l], merr[n][m], xairmass[n][m]);
fclose(diff_lightcurve);
}
}
}
}
}
}
}

```

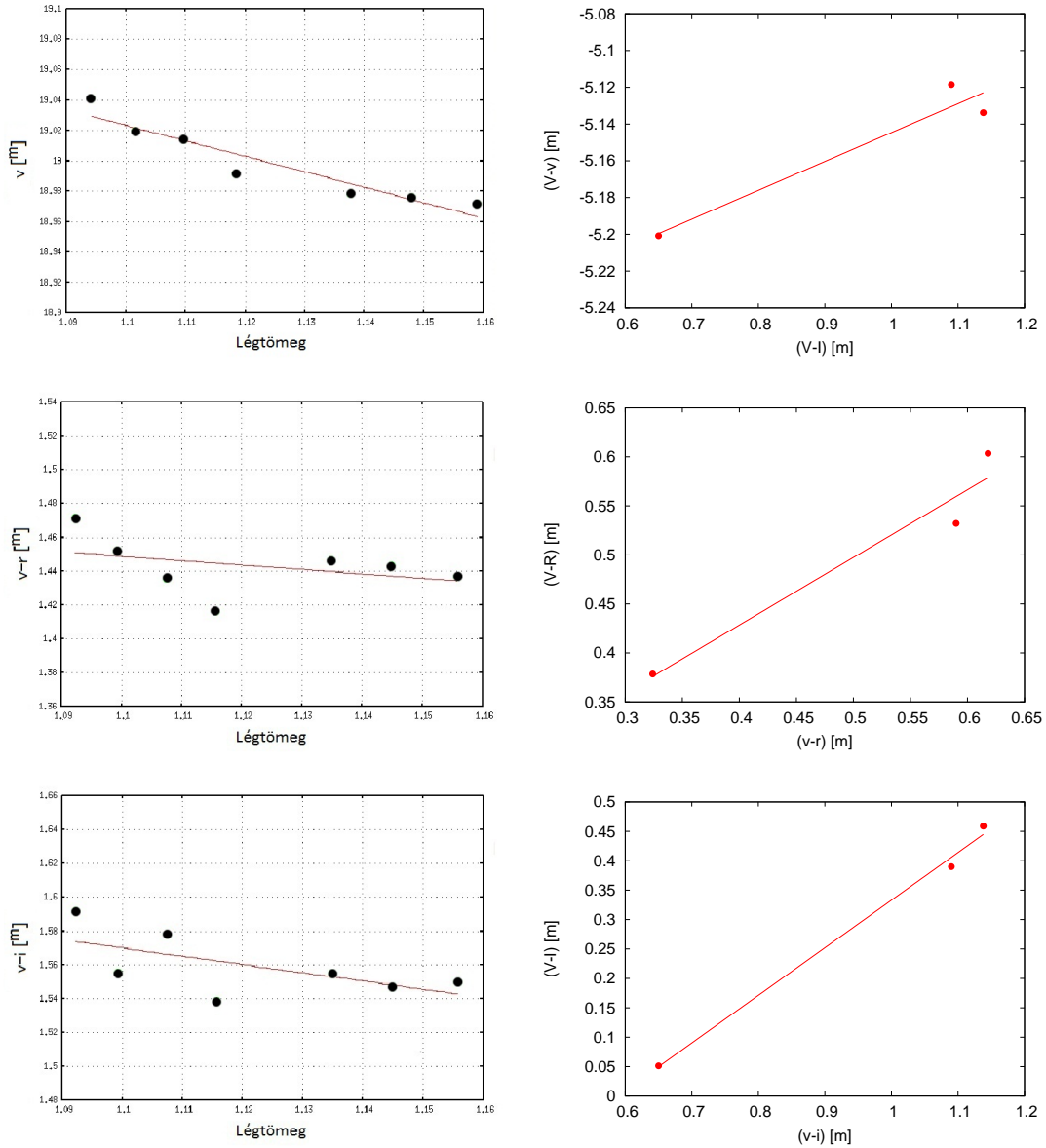
- **plot.sh.** Ábrázoljuk a fénygörbét. Egy plot.gnu fájlba irányítom, ami gnuplotban ábrázolható. Enterek lenyomásával léphetünk a következő görbére.

```

#!/bin/bash
for i in `ls *.diff`;
do
echo "set offs 0,0,0.05,0.05";
echo "p '$i' u 4:7 pt 7 ps 1 lt 3";
pause -1";
done;

```

## 10.2. Illesztések



20. ábra. Extinkciós együtthatók, távcsőkonstansok és a transzformációs összefüggések zéruspontja egyenesillesztéssel. Az extinkciós együtthatók a bal oldali, a távcsőkonstansok a jobb oldali egyenesek meredekségei.