

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
KÍSÉRLETI FIZIKAI TANSZÉK

Az NGC 189 és az IC 1434 nyílthalmazok fotometriai vizsgálata

TDK-dolgozat

Készítette: Makai Zoltán, IV. éves csillagász szakos hallgató
Témavezetők: Csák Balázs PhD-hallgató,
SZTE Kísérleti Fizikai Tanszék
Balog Zoltán tudományos segédmunkatárs,
SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

Szeged, 2004

Tartalomjegyzék

| | |
|---|-----------|
| Bevezetés | 3 |
| 1. A halmazok | 4 |
| 1.1. A nyílthalmazok | 4 |
| 1.2. A csillag-asszociációk | 5 |
| 1.3. A Hertzsprung–Russell diagram (HRD) | 5 |
| 1.3.1. A nyílthalmazok CMD-je | 8 |
| 1.4. Főbb változócsillag-típusok | 9 |
| 2. A használt műszerek, és a redukciós eljárás | 11 |
| 2.1. A műszerek | 11 |
| 2.2. Alapkorrekciók | 12 |
| 2.2.1. A nullszint korrekció | 12 |
| 2.2.2. A sötétáram korrekció | 12 |
| 2.2.3. A flat korrekció | 14 |
| 2.2.4. A kozmikus sugár korrekció | 15 |
| 2.3. A képek összetolása | 15 |
| 2.4. Csillagkeresés → DAOFIND | 16 |
| 2.5. Fotometria | 16 |
| 2.5.1. Az apertúra-fotometria → (PHOT) | 16 |
| 2.5.2. Csillagok kiválasztása a psf-hez → (PSTSELECT) | 17 |
| 2.5.3. A psf-fotometria → (PSF) | 17 |
| 2.5.4. Az ALLSTAR és az adatok kinyerése (TXDUMP) | 17 |
| 2.6. Extinkciós korrekció, standard transzformáció | 18 |
| 2.7. Differenciális fotometria, változócsillagkeresés | 21 |
| 2.8. A periódusmeghatározások, fázisdiagram | 21 |
| 3. Eredmények | 23 |
| 3.1. Az NGC 189 | 23 |
| 3.1.1. A halmaz CMD-je | 23 |
| 3.1.2. A talált változócsillagok | 27 |
| 3.2. Az IC 1434 | 33 |
| 3.2.1. A halmaz CMD-je | 33 |
| 3.2.2. A talált változócsillagok | 35 |
| 4. Összefoglalás | 44 |
| Köszönetnyilvánítás | 46 |

| | |
|---|-----------|
| Irodalomjegyzék | 47 |
| A. Függelék | 48 |
| A.1. A JCG-szűrőrendszer | 48 |
| A.2. A távcsőkonstansok és extinkciós együtthatók meghatározása | 49 |

Bevezetés

A csillagászat egyik alapvető problémája az égi objektumok távolságának meghatározása. Ebből a szempontból a nyílthalmazok vizsgálata fontos, hiszen segítségükkel a különböző fotometriai távolságmérési módszereket lehet kalibrálni. Ezen kívül a Galaxis szerkezetének vizsgálatában is fontos szerepet játszanak. A halmazokban található változócsillagokkal szintén az egyes távolságmérési technikák bekalibrálása válik lehetővé. Emellett segítségükkel a csillag- és csillagpulzációs-modellek ellenőrzésére, finomítására nyílik mód. Így a más-más típusú változócsillagok igen sok információt tudnak szolgáltatni. Kutatásaim legfőképpen arra irányultak (irányulnak), hogy minél több olyan nyílthalmazt vizsgáljak, amelyekről a szakirodalomban igen kevés vagy egyáltalán semmilyen adat nem áll rendelkezésre. Jelen dolgozatban két ilyen nyílthalmaz fotometriai vizsgálatát és annak eredményét mutatom be. Vizsgálataim célja a halmazok fizikai paramétereinek meghatározása (távolság, kor, intersztelláris vörösödés), és változócsillagok keresése a nyílthalmazban illetve annak látóirányában.

A dolgozatban először alapfogalmakról lesz szó, úgy mint: melyek a nyílthalmazok főbb jellemzői; mi az a *HRD* és *szín-fényesség diagram* (**CMD** – Color-Magnitude Diagram), milyen főbb változócsillag-típusok vannak és azok közül melyek fordulnak elő jellemzően nyílthalmazokban. Ezek után a redukciós eljárás során alkalmazott lépéseket, majd az eredményeket ismertetem.

1. A halmazok

1.1. A nyílthalmazok

A **nyílthalmazok** olyan csillagokcsoportosulások, melynek tagjai gravitációs kapcsolatban állnak egymással. Ezen objektumokat alkotó csillagok egy csillagkeletkezési régióban születnek és a térbeli mozgásuk is hasonló. A halmazok gravitációja azonban csak bizonyos ideig tudja összetartani a csillagokat; ezek az objektumok bizonyos idő elteltével szétbomlanak.

Ezekre a csillagcsoportokra jellemző, hogy a Tejútrendszer síkjában (a spirálkarokban) helyezkednek el. Legtöbbjük $10^6 \dots 10^9$ évvel ezelőtt keletkezett, tehát fiatal, fémben gazdag, ún. I. populációs csillagok alkotják. Ezt a fajta besorolást Walter Baade német-amerikai csillagász vezette be 1944-ben (Dictionary of Astronomy, 1995). A nyílthalmazok szabálytalan alakú képződmények; a csillagok száma 10 és 5000 között van. A nyílthalmazok átmérői széles tartományban mozognak, az átlagméret kb. 10 pc, míg tömegük átlagosan $\overline{M} = 2 \times 10^3 M_{\odot}$. A halmazok többségének élettartama 10^8 és 10^9 év között van. A halmazok számát nehéz pontosan megbecsülni, mivel ezen halmazok a Galaxis síkjában vannak és az ott levő nagy mennyiségű fényelnyelő por szinte lehetetlenné teszi detektálásukat. Statisztikus módszerek segítségével a Tejútrendszerben található nyílthalmazok számát 15000-re becsülik, amelyből a katalogizáltak száma nagyjából 1200.



1. ábra. Az NGC 2194 jelű nyílthalmaz

1.2. A csillag–asszociációk

Léteznek még az ún. **csillag–asszociációk** is, melynek csillagai között a gravitációs kapcsolat gyengébb, mint a nyílthalmazok esetén és jóval nagyobb térrészben helyezkednek el. A csillagok közel azonos típusúak. Ezek is fiatal, I. populációs csillagokból állnak. A Tejútrendszerben számukat nagyjából ezerre becsülik. Három típust különböztetnek meg: *OB-asszociációk*, *T-asszociációk*, *R-asszociációk*.

1.3. A Hertzsprung–Russell diagram (HRD)

A csillagászatban alapvető fontosságú állapotdiagramot *Einar Hertzsprung* dán–holland és *Henry Norris Russell* amerikai csillagász fedezte fel. A diagram elkészítése 1905 és 1913 között történt. Eredetileg a vízszintes tengelyen a csillagok spektráltípusa volt feltüntetve, míg a függőleges tengelyen az abszolút fényesség (már nemcsak ezt a két állapotjelzőt szokták feltüntetni a tengelyek mentén). Az abszolút fényesség az a fényesség, amit akkor látnánk, ha a csillag 10 parszek (32,62 fényév) távolságra lenne. Az abszolút fényesség kiszámításához ismert távolságra levő csillagokat használtak. Ez fontos, mivel nem mindig lehetséges ennek meghatározása.

Legyen két csillagunk, melyek látszó fényessége m_1 és m_2 , és a róluk érkező fényintenzitás rendre I_1 és I_2 . Ekkor fennáll, hogy:

$$m_1 = -2,5 \log_{10} I_1 + B \quad (1)$$

$$m_2 = -2,5 \log_{10} I_2 + B \quad (2)$$

ahol B konstans. Ha kivonjuk egymásból a két egyenletet, akkor a következőt kapjuk:

$$m_1 - m_2 = -2,5 \log_{10} \frac{I_1}{I_2} \quad (3)$$

Másképpen:

$$\frac{I_1}{I_2} = 10^{-0,4(m_1 - m_2)} \quad (4)$$

Legyen egy csillag r távolságban, ahol a távolság parszekben van megadva. Ekkor (3)-hoz hasonlóan írhatjuk, hogy:

$$m - M = -2,5 \log_{10} \frac{I(r)}{I(10)} \quad (5)$$

ahol m a csillag látszó fényessége, M pedig az abszolút fényesség. Felhasználjuk, hogy a Lambert-törvény értelmében az intenzitás arányos a távolság négyzetének reciprokával:

$$m - M = -2,5 \log_{10} \frac{1/r^2}{1/10^2} = -2,5 \log_{10} \left(\frac{10}{r} \right)^2 \quad (6)$$

Ha felhasználjuk a logaritmus-azonosságokat, és figyelembe vesszük a csillagközi fényelnyelést is, akkor végeredményül a következőt kapjuk:

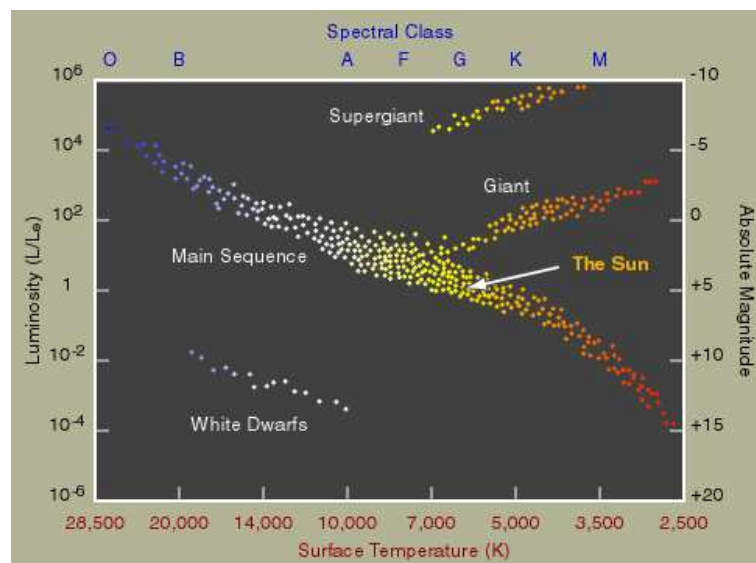
$$m - M = -5 + 5 \log_{10} r + A_v \quad (7)$$

Az $m - M$ -et nevezzük távolságmodulusnak. A (7)-es segítségével tehát ismert távolságú csillagra meg tudjuk mondani az abszolút fényességét. A képletben szereplő konstans (A_v) az interstelláris abszorpcióval kapcsolatos.

Már említettem, hogy a HRD-n más állapotjelzőket is fel szoktak tüntetni a tengelyek mentén, mivel ezek a mennyiségek arányosak egymással, illetve valamilyen módon egymásból következnek. Anélkül, hogy nagyon belemennék a részletekbe felsorolom őket elhelyezésük szerint:

- **Vízszintes tengely** \implies színképosztály, felszíni hőmérséklet, színindex
- **Függőleges tengely** \implies abszolút és látszó magnitudo, luminozitás (a Naphoz viszonyított)

Spektroszkópiai mérések segítségével lehet megállapítani a színképosztályt, amely összefüggésben van a csillagok felszíni hőmérsékletével. A főbb osztályok: **O, B, A, F, G, K, M**. Ezen kívül vannak még további osztályok is, pl.: **L, T**, amelyek az infravörös törpékre jellemzőek; **R, N, S**, melyek szén-csillagokra jellemzőek, és a **W**, amely az igen forró, emissziós ún. *Wolf-Rayet-csillagok*.



2. ábra. A Hertzsprung-Russell diagram

Korán felfedezték, hogy a HRD-n a közel azonos tulajdonságú csillagok kijelölnek bizonyos főbb ágakat. Ezeket később elnevezték aszerint, hogy milyen asztrofizikai csillag-modellekkel lehet a legjobban leírni az ott tartozkodó csillagokat. Később arra is rájöttek, hogy a csillagok fejlődésük, életük során végigvonulnak a HRD ágain és az út, amelyet bejárnak, függ a csillag kezdeti tömegétől. Most következzenek a HRD főbb részei és az ott tartozkodó csillagokra jellemző belső tulajdonságok, röviden:

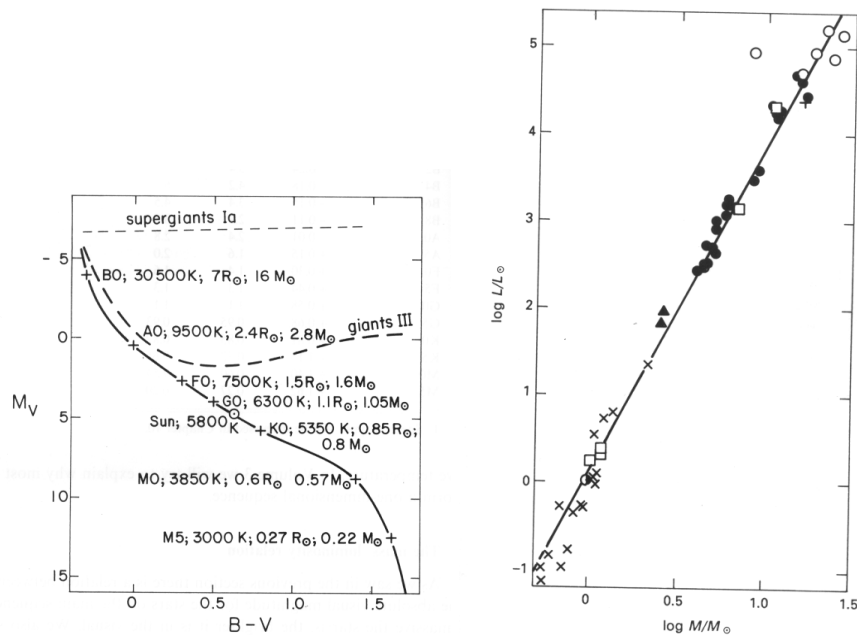
- **Main Sequence (MS) = fősorozat** \Rightarrow a csillag magjában H-égés van
- **Subgiant Branch (SB) = szubóriás-ág** \Rightarrow a héjban H-égés van; a magban energiatermelés nincs és a sugárzási egyensúly nem áll fenn
- **Red Giant Branch (RGB) = vörös óriás-ág** \Rightarrow H-égés a héjban, a sugárzási egyensúly kialakult
- **Horizontal Branch (HB) = horizontális-ág** \Rightarrow He-égés a magban és H-égés a héjban
- **Asymptotic Giant Branch (AGB) = aszimptotikus óriás-ág** \Rightarrow C-, és O-égés a magban, He-égés + H-égés a héjban

A HRD és kettőscsillagok segítségével rájöttek bizonyos empirikus (tapasztalati) összefüggésekre, mint például a *tömeg-fényesség-relációra*. **Ez a reláció csak fősorozati csillagokra érvényes.** A fősorozati csillagok egy egyenes mentén helyezkednek el, azaz minél nagyobb a tömeg, annál nagyobb a fényesség. Számszerűleg kifejezve egy csillag luminozitása arányos a csillag tömegének 3-3,5-dik hatványával, azaz:

$$L \sim M^{3-3,5} \quad (8)$$

A 3. ábrán levő szín-fényesség-diagramon a különböző színképtípusú, felszíni hőmérsékletű, sugarú és tömegű csillagok vannak feltüntetve. A folytonos vonal jelöli a fősorozatot. A vastagabb szaggatott vonal az óriáscsillagok helyét mutatja, míg a vékony szaggatott vonal a fényes szuperóriások által elfoglalt helyet jelöli ki (Erika Böhm-Vitense, 1989). Mellette látható a tömeg-fényesség-reláció Popper (1980) alapján. A különböző szimbólumok különböző típusú kettősöket takarnak.

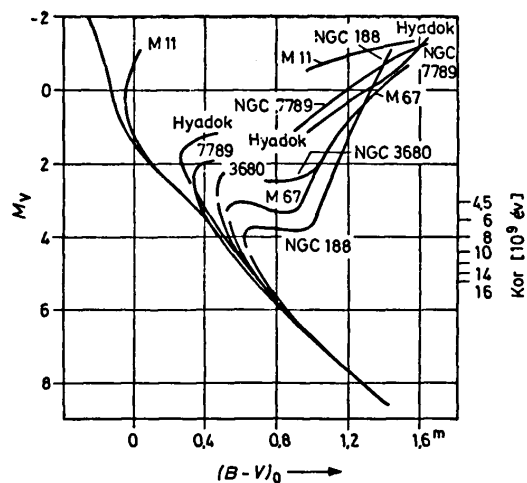
Abban az esetben, ha a HRD vízszintes tengelyén nem a spektráltípust, hanem a színindexet tüntetjük fel és a függőleges tengelyen a látszó magnitudót, akkor megkapjuk a **szín-fényesség diagramot**. Angolul ezt *Color-Magnitude Diagram*-nak, röviden **CMD**-nek nevezik. Tulajdonképpen a szín-fényesség diagram nem pontosan ugyanaz mint a HRD, azonban azzal topológiailag teljesen azonos értékű (Marik, 1989).



3. ábra. Különböző tömegű csillagok CMD-je és a tömeg-fényesség reláció

1.3.1. A nyílthalmazok CMD-je

Ha több nyílthalmaz szín-fényesség diagramját egy ábrán tüntetjük fel, akkor észrevehető, hogy a diagramon levő vonalak a „fővonaltól” különböző magasságokban kanyarodnak el köszönhetően annak, hogy a csillagok pusztán a kezdeti tömegükben különböznek egymástól. A már említett tömeg-fényesség relációból következik, hogy a 4. ábra felső részén vannak a nagyobb tömegű csillagok, míg az alsó részén a kisebbek.



4. ábra. Nyílthalmazok HRD-je

A 4. ábrán látható, hogy mindegyik ág egy közös főágba fut és a kis ágak különböző magasságokban (a **fősorozaton**) hozzásimulnak a főághoz. Ezt a főágot nevezzük **nulla-korú fősorozatnak** (*Zero Age Main Sequence*, röviden **ZAMS**). A kis ágak a fősorozathoz az ún. *turn off point*-ban csatlakoznak. Ez az elfordulási pont a halmaz koráról adhat felvilágosítást. Minél öregebb egy halmaz, az elkanyarodás annál nagyobb magnitúdó értéknél történik meg. A nagyon fiatal halmazok csillagai még a fősorozaton tartózkodnak, így az ő HRD-jük szinte csak egy vonalból áll (az 4. ábrán ez az NGC 2362). Az ábrán példa egy öreg halmazra az NGC 188, amely már kb. 6^m-nál elfordul a ZAMS-tól. Ezeknél a halmazoknál megjelenik a **vörös óriás ág (RGB)**. Ezt elválasztja - a nem túl idős halmazoknál - a főorozattól az ún. *Hertzsprung-úr*. Ilyen halmaz például a Hyadok, amely a Taurus (Bika) csillagképben található. Ez az úr már nem látható a nagyon öreg halmazoknál (pl. NGC 188 vagy M 67). Ekkor az óriáság és az elfordulási pont között a **szubóriás ág (SB)** teremt kapcsolatot.

A következő részben röviden ismertetem a fontosabb változócsillag-típusokat.

1.4. Főbb változócsillag-típusok

A változócsillagok olyan csillagok, melyeknek a fizikai állapotjelzői különböző módon változnak az időben. Másképpen megfogalmazva: *A változócsillagok olyan csillagok, amelyek emberi időskálán (max. 100 év) mérve valamilyen megfigyelhető fizikai paraméteriüket időben változtatják.* A legszembetűnőbb a fényességük változása, amely más, nem látható fizikai változás következménye. A csillagfejlődés okozta változás nem sorolható ide, azonban a csillagfejlődés befolyással van a változócsillagra (pl instabilitási sáv). De például egy csillagra hatással lehet egy másik csillag is (kölsönható kettősök); ilyenek pl. az ún. Ia-típusú szupernóva-robbanások (ekkor a fehér törpe anyagot kap a társcsillagtól).

A változócsillagoknál bekövetkező fényességváltozást az idő függvényében szokás feltüntetni, ez adja a fénygörbét. Ilyenkor a függőleges tengelyen a magnitúdó van. Az időt leginkább *Julián Dátum*-ban szokás ábrázolni. A fénygörbe alapvető jellemzői a *periódusa* és az *amplitudója*. Az amplitudó a görbe globális maximuma és minimuma közötti rész nagysága. A periódus a két legközelebbi, azonos fázisú pont távolsága. Az ún. *fázisdiagram* vagy *fázisgörbe* lényege, hogy különböző éjszakákon kapott fénygörbék egyes pontjait egy fázisba rendezzük (0 és 1 közé), egy adott periódussal. Ezzel jól láthatóvá válik a csillag fényváltozása egy periódus alatt.

Ezt matematikailag a következőképpen lehet felírni:

$$\varphi = \frac{t - t_0}{P} - \text{int} \left(\frac{t - t_0}{P} \right) \quad (9)$$

ahol φ a fázis, t az idő (JD-ben), t_0 egy rögzített időpont (epocha) vagy referencia-időpont, és P pedig a periódus. Az *int* jelöli az egészrész-függvényt. Összefoglalva tehát: ekkor időpontot vizsgálunk periódus-egységben. Ezt csak akkor lehet használni, ha a változás monoperiodikus,

azaz a periódusnak állandónak kell lennie. Ha ez nem áll fenn, akkor más módszerek állnak rendelkezésre (*O - C diagram, Fourier-transzformáció, fázis-diszperzió*).

A változócsillagoknak igen sok fajtája ismert. Most csak a legnagyobb csoportokat és azok alcsoportjait sorolom fel, mivel a teljes, részletes ismertetés meghaladná ezen dolgozat terjedelmét.

- **Fedési kettőscsillagok.** Ezek olyan változócsillagok, amelyek a közös tömegközéppont körül keringenek és a Földről nézve periódikusan elhaladnak egymás előtt, így megváltoztatva a rendszer összfényességét.
- **Rotáló változócsillagok.** Ezeknél a csillagoknál a fényváltozás döntő mértékben a csillag rotációjának köszönhető, illetve a csillagokon található foltok is okozhatják a csillagok fényváltozását (foltos változócsillagok).
- **Pulzáló változócsillagok.** A csillagok pulzációját a csillag belső instabilitása okozza. A pulzáció lehet radiális (sugár-irányú) és nem-radiális (haladó hullámok a felszínen és alatta).
- **Kataklizmikus változócsillagok.** Itt hirtelen lejátszódó folyamatok okozzák a fényváltozást. Ezek a csillagok nagyon rövid idő alatt, hirtelen fényesednek fel.
- **Eruptív (kitörési) változócsillagok.** Az itt megfigyelhető kitörésekért a csillag kromoszférajában és a koronában lejátszódó nagyenergiájú folyamatok tehetőek felelőssé.

A nyílthalmazokban nem minden típusú változócsillag található meg. Például *RR Lyrae*-típusút még nem sikerült megfigyelni nyílthalmazban és ritkán fordulnak elő hosszúperiódusú (pl. *Mira típusú*) változócsillagok. Fiatal halmazokban előfordulnak δ *Cephei*-k és β *Cephei*-k is. Jól lehet őket távolságmérésre használni, mivel a periódusuk stabil. Ezen kívül segíthetnek jobban bekalibrálni az ún. *periódus-fényesség relációt*, amelyet a mai napig nem sikerült jól meghatározni. Ez fontos, mivel a nyílthalmazok segítségével lehet a legpontosabb távolságméréseket végrehajtani, bizonyos határig. Gyakran előforduló változócsillag-típusok a rövidperiódusú δ *Scuti*-k, illetve a fedési kettősök. A változók meghatározott távolsága tulajdonképpen a halmaz távolságát jelenti egyúttal, mivel tőlünk nézve nagyjából egyforma távolságra vannak a halmaz csillagai. Találtak már foltos változókat is nyílthalmazokban, azonban ezeket nehéz kimutatni, mivel igen kis amplitudójú (0^m01) a fényváltozásuk (Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics, 2001).

A csillagászat egyik fontos kérdése az égi objektumok távolságának meghatározása. A változócsillagokkal a különböző fotometriai távolságmérési-technikák kalibrációja, illetve csillag- és pulzációs-modellek ellenőrzése, finomítása lehetséges.

Az eddigiekben bizonyos alapfogalmakról volt szó. A következőkben az általam használt műszerekről beszélek, majd a nyers képekből való információszerzés lépéseit ismertetem.

2. A használt műszerek, és a redukciós eljárás

2.1. A műszerek

Az NGC 189 jelű nyílthalmazról 2003. augusztusában (aug. 15., aug. 16., aug. 20.) és szeptemberében (21-én) készültek felvételek, míg az IC 1434 nyílthalmazról 2003. szeptember 18. és 23. közötti öt éjszakán. A képeket az MTA KTM CSKI Pizskéstetői Observatóriumának 60/90/180 cm-es Schmidt távcsövével készítettem. Az observatórium az Északi-Középhegységben található (a Mátrában), 937 méterrel a tengerszint felett. A távcsőre *Photometrics AT-200 CCD* kamera volt felszerelve, amelyben egy *KAF 1600*-as chip foglalt helyet. A CCD-kamera látómezeje $29' \times 18'$. A KAF 1600-as chipben $9\mu\text{m}$ -es pixelek vannak, összesen 1536×1024 , így a felbontás $1.13''/\text{pixel}$.



5. ábra. A Schmidt távcső és a kupolája

2.2. Alapkorrekciók

2.2.1. A nullszint korrekció

A CCD egy mozaikszó: *Charge Coupled Device*, magyarul töltéscsatolt eszköz. A CCD félvezető anyagból álló, kis cellák összessége, amelyeket mátrixos elrendezésben lehet leginkább látni. A CCD-k előnyei a régebbi detektorokkal szemben:

- Széles spektrális érzékenység (200 nm - 1000 nm)
- Linearitás (A vizsgált objektum képének intenzitása egyenesen arányos a CCD-chip megvilágításának idejével)
- Nagy dinamikai tartomány ($10^m - 12^m$)

A CCD egy másik nagyon jó tulajdonsága a kvantumhatásfoka. Ez általában azt jelenti, hogy 100 beérkező fotonból 80-90 fotont is hasznosítani tud a detektor. A kvantumhatásfok képlet formájában is megadható:

$$QE = \frac{\text{detektált fotonok átlagos száma/pixel/s}}{\text{beeső fotonok átlagos száma/pixel/s}} \quad (10)$$

Azonban ez a detektor sem tökéletes, így a nyers képeken el kell végezni bizonyos korrekciós lépéseket, ha használható képeket szeretnénk. Ezek ismertetése következik most.

A redukciós eljárásokat az *IRAF*¹ nevű programmal végeztem, amelyet a National Optical Astronomy Observatory-ban fejlesztettek ki az 1980-as években. Ez az igen összetett programcsomag több alprogramra bomlik és azokon belül helyezkednek el az ún. *taskok*.

A *bias* tulajdonképpen egy *alapkép korrekció*. A bias a chip alapjel-szintjére jellemző érték. Ha egy képet kiolvasunk és rögtön utána készítünk egy nulla integrációs idejű felvételt és azt kiolvassuk, akkor azt tapasztaljuk, hogy egyes pixelek kis mértékű jellel rendelkeznek. Bias-korrekciónál érdemes több bias-képet készíteni és azokat átlagolni kell. A bias-kép átlagolásánál a task-ok: **noao** \implies **imred** \implies **ccdred** \implies **zerocombine**.

A bias-korrekciónál lényeges, hogy **minden képből ki kell vonni az átlagolt bias-képet!** A bias-korrekció lépései: **noao** \implies **imred** \implies **ccdred** \implies **ccdproc**.

2.2.2. A sötétáram korrekció

Ha nem elég alacsony a kamera „sötétárama”, akkor kell elvégezni a *dark-korrekciót*. A sötétáram oka, hogy elég nagy hőmozgás esetén a chipeket alkotó félvezetőkből akkor is ki léphetnek elektronok, ha a kamerát nem éri fény. Minél nagyobb a hőmérséklet, annál több elektron szabadulhat ki a rácsszerkezetből. Valójában a sötétáram a hőmérséklettel exponenciálisan nő, bár a gyök alatti tényező befolyásolja leginkább a következő függvényt (Buil, 1991):

¹<http://iraf.noao.edu>

$$S = A\sqrt{T^3} \exp(-V_g q / (2kT)) \quad (11)$$

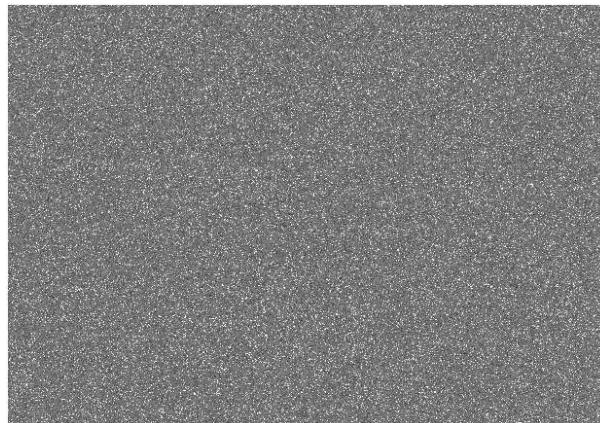
ahol T a hőmérséklet Kelvinben, q az elektron elemi töltése (1.6×10^{-19} C), k a Boltzmann-állandó (1.38×10^{-23} J/K), és A pedig egy konstans. Tehát minél „melegebb” a kamera, illetve minél hosszabb az integrációs idő, annál nagyobb lesz a sötétáram. A CCD-kamera megfelelő hűtésével a sötétáram lecsökkenthető.

A *sötétkép* a fentiek miatt, egy a korrigálandó képpel azonos integrációs idővel és ugyanazon hőmérsékleten készített kép azzal a különbséggel, hogy ez a kép megvilágítás nélkül készül. Így a termikus hatásokból eredő jeleket pixelenként kivonjuk az objektumkép pixeleiből:

$$I'(x,y) = I(x,y) - \frac{\sum_{p=1}^M D_p(x,y)}{M} \quad (12)$$

Az (x,y) -ok a pixel-koordinátákat jelölik, I a „nyers” kép, és D_p a sötétkép. Az átlagolásra azért van szükség, mert így javul a jel/zaj (S/N) arány, illetve sok véletlenszerű jelet már ezzel ki lehet szűrni.

A piszkéstetői kamerának (a CCD-kamerát egy Peltier-elem hűti le) jelentős a sötétárama (0.009 elektron/pixel/s, $T = -40^\circ\text{C}$ -nál). Így ezt a korrekciót el kellett végezni ügyelve arra, hogy a **megfelelő expozíciós idejű képből a vele azonos expozíciós idejű képet vonjuk ki**. Itt is össze kell átlagolni a képeket, persze figyelve az integrációs időkre. Ennek módja az IRAF-on belül a következő lépésekkel érhető el: **noao \Rightarrow imred \Rightarrow ccdred \Rightarrow darkcombine**.



6. ábra. Egy átlagolt dark-kép

Fontos: a dark-korrekciót szintén minden képre meg kell csinálni, tehát a flat-képekre is. A korrigálandó képekből való sötétkép-levonásnál ugyanazt a taskot kell használni, mint a bias esetén is, azaz: **noao \Rightarrow imred \Rightarrow ccdred \Rightarrow ccdproc**.

2.2.3. A flat korrekció

További hibaforrásként jelennek meg az optikai leképező rendszeren levő kis porszemek, szennyeződések, a pixelek különböző érzékenysége és a vignettálás. Az ezek által keletkező struktúrák zavaró tényezők, mivel nem a csillagászati objektum okozza és a pixelek intenzitását szintén befolyásolja. Ezen hamis struktúrák jól láthatóvá válnak, ha olyan felvételt készítünk (*világosképet*), amely egy egyenletesen kivilágított területről készül.

Általában a távcsövek kupolájában el van helyezve a falon egy fehér kartonlap, amelyre ráállítva a teleszkópot készíthetünk képeket (*dome-flat*). A kartonlap egyenletes kivilágítása azonban eléggé nehézkes, főleg a nagylátószögű távcsöveknél (pl. a Schmidt távcsőnél). Így a gyakorlatban az esti és reggeli szürkületi égboltról szoktak felvételeket készíteni (*skyflat*). Az ilyen égbolt eléggé homogén és ekkor még/már a csillagok sem látszanak. Mivel a porszemektől és szennyeződésektől kialakuló struktúrák a fény hullámhosszától függően különböző alakúak lesznek és mindegyik szűrőn lehetnek koszos, ezért **ha több szűrővel készítünk képeket, akkor a flat-képeknek is több szűrővel kell készülniük**. Ha elkészülnek a flat-képek, akkor azokból is le kell vonni a dark-képet, azaz hasonlóan (12)-höz:

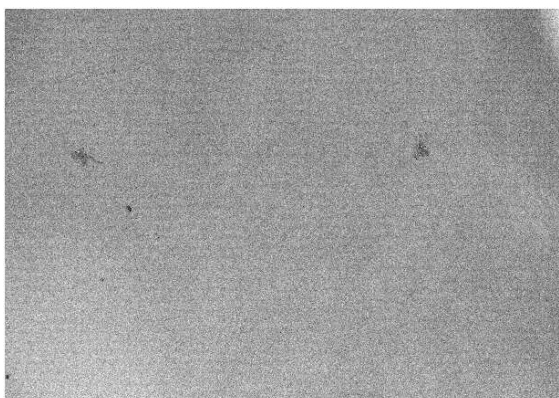
$$F'(x,y) = F(x,y) - \frac{\sum_{p=1}^M D_p(x,y)}{M} \quad (13)$$

A dark-korrekción átesett képet (I') 1-re kell normálni. Ez azt jelenti, hogy a pixelek átlagértékét 1-nek választjuk. A többi pixel fényességét ehhez arányítjuk és így azok 1 körüli értéket vesznek fel. Ezzel az 1-re normált flat-képpel kell leosztani a korrigálandó képeket:

$$I''(x,y) = \frac{I'(x,y)}{F'(x,y)} \langle F'(x,y) \rangle \quad (14)$$

ahol $\langle F'(x,y) \rangle$ a flat-kép számtani közepe.

A világosképeket is szűrőnként átlagolni kell úgy, hogy az azonos átlagszintre hozott flat-képek mediánját vesszük. Ezzel a képre került csillagok eltűnnek és javul az S/N arány is. Az ehhez szükséges lépések: **noao** \implies **imred** \implies **ccdred** \implies **flatcombine**.



7. ábra. Egy átlagolt flat-kép

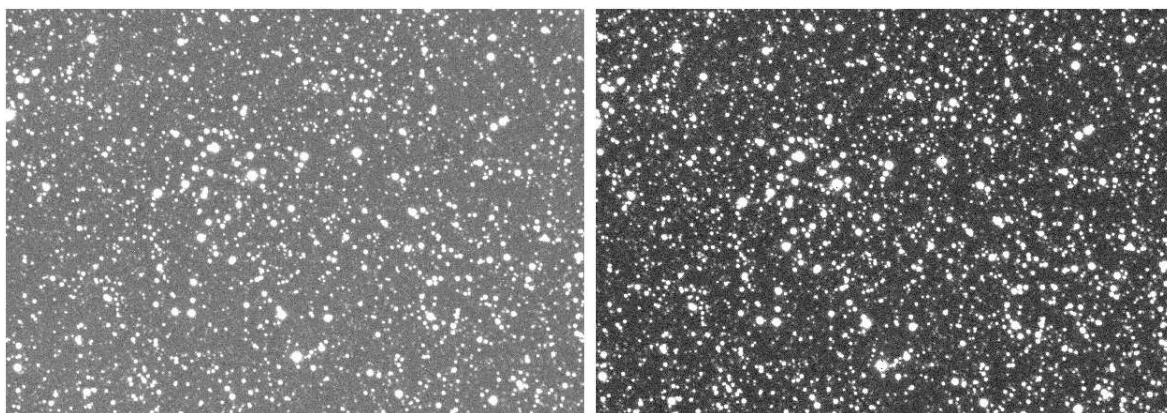
Ezután a sötétképpel korrigált átlagolt flat-képpel le kell osztani a szintén dark-korrigált objektumképet. A normálást és a flat-korrektúrákat szintén a `ccdproc` nevű task segítségével lehet elvégezni: `noao` \Rightarrow `imred` \Rightarrow `ccdred` \Rightarrow `ccdproc`.

2.2.4. A kozmikus sugár korrekció

A kozmikus sugarak nagy energiájú részecskék, amelyek az égbolt egész területéről érkeznek és szinte akadálytalanul jutnak a detektorokba. Azokon a kamerákon, melyeken áthaladnak, sokszor több száz vagy ezer elektront is kiválthatnak. A kiolvasott képeken nagy kontraszttal emelkednek ki a kozmikus sugarak. A zajtól a nagy intenzitás különbözteti meg őket.

Hasonlóan az eddigiekhez, több alprogramon át lehet eljutni a korrekciót végző taskhoz: `noao` \Rightarrow `imred` \Rightarrow `crutil` \Rightarrow `cosmicrays`. Ezt a programot érdemes mindenképpen interaktívan futtatni. Figyelni kell arra, hogy ne legyen nagyon magas az alapszint, mert sok információ elveszhet.

Érdemes a korrekciót **iteratív módon** elvégezni, mert elsőre nem valószínű, hogy a lehető legtöbb kozmikus sugarat sikerült törölni. Vigyázni kell azonban arra, hogy az iterációs lépések száma ne legyen sok, mert az szintén információ veszteséggel jár (én kétszer végeztem el a képeimen a korrekciót). Befejezésül két kép: a 8. ábrán a nyers kép, mellette pedig a korrigált kép látható.



8. ábra. Az NGC 189 egyik nyers r-szűrős, illetve korrigált képe

2.3. A képek összetolása

A távcsövek általában rendelkeznek óragéppel, amelyek segítségével kompenzálható a Föld forgása, így az objektumot végig követi a távcső. Azonban a követés nem teljesen pontos, ezért a csillagok egy kicsit más pozícióban lesznek képről-képre, másképpen fogalmazva a képek „lötyögnek”. Ezt mindenképpen érdemes korrigálni, mert később a fotometriánál fontos lesz.

Több módon is eljárhatunk a képek összetolásánál. Az egyik mód az, hogy ki kell választani egy referenciaképet, és ehhez a képhez toljuk össze a többi képet. Így a csillagok minden

képen ugyanazon a pixel-koordinátán lesznek. Ezt megtehetjük az **imalign** nevű task segítségével. A taskot bármelyik programcsomagból meghívhatjuk, de a „hivatalos” elérési útvonal: **images** \Rightarrow **immatch** \Rightarrow **imalign**.

Egy másik képösszetolási task az *imshift*. Ez szintén elérhető mindenhol az IRAF-on belül, de ennek is van pontos helye: **images** \Rightarrow **imgeom** \Rightarrow **imshift**. A kettő között a különbség, hogy az *imalign* a megadott referencia csillagok segítségével illeszti a legpontosabb x, y eltolás értékeket, majd ezen adatokkal csúsztatja el a képeket, míg az *imshift* csak a megadott értékkel tolja el a képeket. Egy további alternatíva a geotran és geomap használata, amellyel sok geometriai transzformációt lehet elvégezni.

2.4. Csillagkeresés \rightarrow DAOFIND

A csillagkeresést az IRAF-on belül a daofind task segítségével lehet megtenni: **noao** \Rightarrow **digiphot** \Rightarrow **daophot** \Rightarrow **daofind**. Itt már több beállítandó adat van (pl. félértékszélesség, szórás). Ezeket fontos jól beállítani, mivel fotometriánál az itt beállított értékekkel kell dolgozni. A képek háttérét és a csillagok félértékszélességét meghatározhatjuk több módon is. Én úgy csináltam, hogy egy script segítségével beadtam az összes képet az imexamine nevű tasknak, melyet elérhetünk minden programból, de persze van „normál elérhetősége” is: **images** \Rightarrow **tv** \Rightarrow **imexamine**.

Azt, hogy mennyire állítottuk be jól az értékeket és így mennyi csillagot talált meg a program, a tvmark task segítségével tudjuk leellenőrizni. A tvmark is elérhető bárhol, de neki is van más hozzáférhetősége: **images** \Rightarrow **tv** \Rightarrow **tvmark**.

2.5. Fotometria

2.5.1. Az apertúra-fotometria \rightarrow (PHOT)

Apertúra-fotometriánál lényeges, hogy jól állítsuk be az értékeket, mert az itt kapott adatok lesznek a psf-fotometria kezdeti bemenő paraméterei. Itt a lényeg az, hogy az egyes csillagprofilokon belüli pixelek intenzitását tekintjük a csillag fényességének. Kényes kérdés az apertúra nagyságának helyes megválasztása. A cél az, hogy minél kisebb apertúra-méret mellett a lehető legtöbb fényt kinyerjük. Ezt egy körgyűrű segítségével tesszük meg. Az apertúra összefüggésben van a csillag félértékszélességével is: minél nagyobb a félértékszélesség, annál nagyobbak kell választani az apertúrát, és fordítva. Ezért jó, ha több csillag félértékszélességének átlagát vesszük.

Az apertúra-fotometria elérési útja az IRAF-ban: **noao** \Rightarrow **digiphot** \Rightarrow **apphot** \Rightarrow **phot**. A phot task megtalálható még a következő helyen is: **noao** \Rightarrow **digiphot** \Rightarrow **daophot** \Rightarrow **phot**. Mindkettő használható.

Mivel a félértékszélesség, háttér és egyéb paraméterek képenként változnak, ezért minden egyes képre külön be kell ezeket állítani. Én ezt egy script segítségével tettem meg. A végered-

ményül létrejövő file-okban rengeteg adat van, többek között a csillag apertúra-fotometriával meghatározott *instrumentális fényessége*. Azért instrumentális, mert ez mindig az adott eljárás során kapott egyedi, másokéval nem összeegyeztethető magnitudo-érték. Azért van így, mert ez az érték függ az adott detektor spektrális érzékenységétől, a távesső spektrális áteresztésétől, a légköri viszonyoktól stb. Ha a vizsgált csillagmező sűrű, akkor ez az eljárás már nem jó, mivel az egyes csillagprofilok egymásba érhetnek és így nehéz az apertúra méretét megállapítani. Ekkor kell használni a psf-fotometriát.

2.5.2. Csillagok kiválasztása a psf-hez → (PSTSELECT)

Ahhoz, hogy a psf-fotometriát el tudjuk végezni, ki kell választani egy képen bizonyos csillagokat, amelyekre meg kell csinálni a psf-fotometriát. Később ezek segítségével lehet elvégezni a többi képen levő összes csillagra az eljárást. A psf-csillagok kiválasztására a `pstselect` nevű task alkalmas: `noao` ⇒ `digiphot` ⇒ `daophot` ⇒ `pstselect`. Lényeges, hogy minél több csillagot válasszunk ki a kép különböző pontjairól (én 60 darabot választottam ki). A programot az első képre érdemes interaktívan futtatni, mivel így mi választhatjuk ki a csillagokat.

Ha sikerült az egyik képre a válogatás, akkor a többi képre is meg kell tenni. Figyelni kell azonban arra, hogy itt is képenként kell beállítani a megfelelő paramétereket. Itt is egy script segítségével oldottam meg a „problémát”. A program futásának eredményeképpen létrejön egy file, amely tartalmazza a psf csillagok listáját, amelyet majd a psf-nél kell megadni, mint bemenő paramétert.

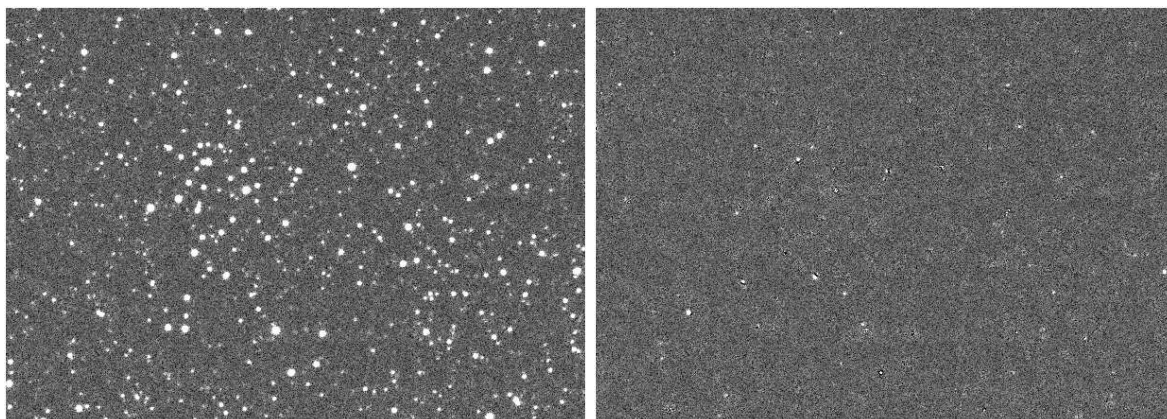
2.5.3. A psf-fotometria → (PSF)

A psf jelentése: *Point Spread Function*, azaz pont-kiszéledési függvény. Ez egy csillagra (pontosabban egy pontszerű objektumra) vonatkoztatott átviteli függvény. Ez légkörön kívüli esetben egy Airy-féle elhajlási korong, amelyet azonban a légköri turbulenciák torzítanak. Ezért a csillagokra illeszteni kell egy függvény forgatásával nyert felületet. Ennek a függvénynek a kiválasztása történik meg a `pstselect`-nél. A psf-fotometriához szükséges task elérése: `noao` ⇒ `digiphot` ⇒ `daophot` ⇒ `psf`. Érdemes először egy képre megcsinálni a fotometriát. Hasonlóan az eddigiekhez, minden képre át kell írni a megfelelő paramétereket. Ezt szintén egy scripttel csináltam meg.

2.5.4. Az ALLSTAR és az adatok kinyerése (TXDUMP)

Az összes képre és az azokon található csillagokra az `allstar` nevű task segítségével lehet a kiszámolt psf-eket megilleszteni. A task elérési lehetősége: `noao` ⇒ `digiphot` ⇒ `daophot` ⇒ `allstar`. A program több iterációval számol és közben csoportosítja a csillagokat is. A kiszámolt magnitudoakat, az illesztés hibáját, az iterációs lépéseket stb. kiírja egy file-ba. Azokat a csillagokat, amelyekre nem tudott illeszteni és így nem lehetett meghatározni

magnitudo-értéket, kiválogatja egy másik file-ba. Az, hogy mennyire volt jó a beállítás, az most derül ki. Ugyanis a program létrehoz egy ***.sub.1.fits** kiterjesztésű file-t, amely tulajdonképpen ugyanaz, mint az eredeti kép annyi különbséggel, hogy erről le vannak vonva az illesztett psf-ek. Ha a kapott *subimage* közelítően homogén, azaz nincsenek rajta csillagok, akkor jól lettek megadva a bemenő paraméterek (9. ábra).



9. ábra. A halmaz a psf levonása előtt és után

Az eddigiekben kapott adatfile-okból számunkra nem mindegyik adat kell. A fénygörbéhez és a halmazok szín-fényesség diagramjához szükséges adatokat a `txdump` nevű task-kal nyerhetjük ki: **noao** \implies **digiphot** \implies **ptools** \implies **txdump**.

2.6. Extinkciós korrekció, standard transzformáció

Észrevehető derült éjszakákon, hogy a csillagok fénye egyre halványabb és vörösebb, ahogy haladunk a horizont felé. Mindkettő jelenségért a földi légkör tehető felelőssé. A légkör fényelnyelését nevezzük *extinkciónak*. Plánparalel közelítésben az elnyelés az $1/(\cos Z)$ mennyiséggel arányosan változna, ahol Z a zenittávolság szöge. Az $1/(\cos Z)$ -t *sec Z*-nek szokás rövidíteni. Ennek értékét a következőképpen lehet meghatározni (Cooper & Walker, 1994):

$$\sec Z = \frac{1}{(\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos h)} \quad (15)$$

A (15)-ben φ a megfigyelési hely földrajzi szélessége, δ a csillag deklinációja, h pedig az óraszög. Az elnyelés tényleges értéke függ az obszervatórium tengerszint feletti magasságától és az égbolt pillanatnyi állapotától is. Ha elhagyjuk a plánparalel közelítést, akkor a következő összefüggést lehet felírni (Bemporad, 1904):

$$X = \sec z - 0,0018167(\sec z - 1) - 0,002875(\sec z - 1)^2 - 0,0008083(\sec z - 1)^3 \quad (16)$$

A (16)-ban z a látszó, nem pedig a valódi zenittávolság. Elsőrendű közelítésben az extinkciós korrekciók alakja (Henden & Kaitchuk, 1982):

$$v_0 = v - k'_v X \quad (17)$$

$$(b - v)_0 = (b - v) - k'_{bv} X \quad (18)$$

$$(v - r)_0 = (v - r) - k'_{vr} X \quad (19)$$

$$(v - i)_0 = (v - i) - k'_{vi} X \quad (20)$$

ahol X a levegőtömeg, a k' -k az extinkciós együtthatók. Az egyenletek bal oldalán levő 0-s indexű tagok az extinkcióra korrigált értékek. Ezek azt mutatják meg, hogy milyen fényes lenne a csillag, ha nem lenne légkör. Ezek az egyenletek valójában tartalmaznak egy k'' -s másodrendű tagokat is, azonban ezek értéke nagyon kicsi, így elég az elsőrendűeket figyelembe venni. Ahhoz, hogy mások méréseivel is össze lehessen egyeztetni a saját méréseinket az szükséges, hogy egy nemzetközi standard rendszerbe átszámoljuk a kapott instrumentális magnitúdókat. E rendszernek az alappontjai ismert fényességű csillagok; ezeket nevezik *standard csillagok*nak. A standard rendszerbe való átszámoláshoz alkalmazott egyenletek (Henden & Kaitchuk, 1982):

$$V = v_0 + \epsilon_{VR}(V - R) + \xi_V \quad (21)$$

$$(B - V) = \mu(b - v)_0 + \xi_{BV} \quad (22)$$

$$(V - R) = v(v - r)_0 + \xi_{VR} \quad (23)$$

$$(V - I) = \eta(v - i)_0 + \xi_{VI} \quad (24)$$

Az ismert fényességű csillagok adatainak segítségével meghatározhatóak az ún. távcsőkonstansok (ϵ_{VR} , μ , v , η), majd ezek segítségével a halmaz összes ismeretlen fényességű csillagára megkaphatjuk az ő standard értékeiket.

Én a távcsőkonstansokat és az extinkciós együtthatókat egyenes-illesztéssel határoztam meg. A standard csillagokat a *Landolt-katalógusból*² vettem. A csillagok az SA 114-es mezőben foglaltak helyet. A csillagok standard adatait, illetve az általam apertúra-fotometriával számolt, extinkcióra korrigált instrumentális magnitúdó értékeket a 1. táblázat tartalmazza.

A (17) egyenlet átrendezésével a következő írható:

$$v = v_0 + k'_v X \quad (25)$$

Ezt az egyenletet minden szűrőre és standard csillagra felírtam. Végül a hat standard csillagra kapott együtthatókat átlagoltam. Miután megkaptam a 0-s tagokat szűrőnként, képeztem a standard transzformációs egyenleteket, melyek segítségével meg lehet kapni a távcsőkonstansokat.

²Landolt-katalógus címe: <http://www.cfht.hawaii.edu/ObsInfo/Standards/Landolt>

| Csillag száma | V_s | $(B-V)_s$ | $(V-R)_s$ | $(V-I)_s$ | v_0 | $(b-v)_0$ | $(v-r)_0$ | $(v-i)_0$ |
|---------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| 548 | 11, ^m 60 | 1, ^m 362 | 0, ^m 738 | 1, ^m 387 | 16, ^m 720 | 2, ^m 265 | 0, ^m 820 | 1, ^m 087 |
| 654 | 11, ^m 83 | 0, ^m 656 | 0, ^m 368 | 0, ^m 711 | 17, ^m 011 | 1, ^m 596 | 0, ^m 480 | 0, ^m 433 |
| 656 | 12, ^m 64 | 0, ^m 965 | 0, ^m 547 | 1, ^m 051 | 17, ^m 782 | 1, ^m 891 | 0, ^m 640 | 0, ^m 771 |
| 670 | 11, ^m 10 | 1, ^m 206 | 0, ^m 645 | 1, ^m 208 | 16, ^m 233 | 2, ^m 118 | 0, ^m 737 | 0, ^m 923 |
| 750 | 11, ^m 92 | -0, ^m 041 | 0, ^m 027 | 0, ^m 011 | 17, ^m 126 | 0, ^m 937 | 0, ^m 139 | -0, ^m 224 |

1. táblázat. A standard csillagok adatai

A (22)-(24)-es egyenletek esetén a 0-s indexű színindexek függvényében kell ábrázolni a standard színindexeket. A (21)-es egyenletet átrendezve kapjuk:

$$V - v_0 = \varepsilon_{vR}(V - R) + \xi_V \quad (26)$$

Az extinkciós együtthatók és a távcsőkonstansok meghatározására szolgáló egyenes-illesztéseket a Függelékben mutatom be.

A 2. táblázat tartalmazza az átlagolt extinkciós együtthatókat, illetve a meghatározott távcsőkonstansokat a zéruspontokkal.

| Ext. együtthatók (\pm hiba) | Táv. konst. (\pm hiba) | Zéruspontok (\pm hiba) |
|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| $\bar{k}_b = 0,1622 \pm 0,0560$ | $v = 1,044 \pm 0,013$ | $\xi_{vi} = -0,123 \pm 0,008$ |
| $\bar{k}_i = 0,0776 \pm 0,0902$ | $\eta = 1,045 \pm 0,006$ | $\xi_{vr} = 0,249 \pm 0,005$ |
| $\bar{k}_r = 0,1264 \pm 0,0232$ | $\mu = 1,056 \pm 0,013$ | $\xi_{bv} = -1,030 \pm 0,001$ |
| $\bar{k}_v = 0,1372 \pm 0,0220$ | $\varepsilon_{vr} = 0,063 \pm 0,008$ | $\xi_v = -5,209 \pm 0,008$ |

2. táblázat. A meghatározott együtthatók és konstansok

Az egyik végső cél a halmazok szín-fényesség diagramjának felvétele. Ezért a halmazok csillagainak standard fényességét ki kell számolni. A jobb határfényesség eléréséhez a különböző színszűrős képeket összeadtam, így végeredményül lett négy darab kép, szűrőnként egy-egy. Ezt az `imsum` task-kal hajtottam végre: `images` \implies `imutil` \implies `imsum`. Mindkét halmazban kiválasztottam hat-hat csillagot, melyeknek nem változott a fényessége és meghatároztam ezen csillagok instrumentális és standard fényességét, apertúra-fotometriával. Vettem ezen értékek átlagát, majd a differenciális extinkciós, és standard transzformációs egyenletekkel megkaptam a többi csillag standard magnitudoit. Az alkalmazott egyenletek:

$$\Delta V = \Delta v + \varepsilon_{vR}\Delta(V - R) \quad (27)$$

$$\Delta(B - V) = \mu\Delta(b - v) \quad (28)$$

$$\Delta(V - R) = v\Delta(v - r) \quad (29)$$

$$\Delta(V - I) = \eta\Delta(v - i) \quad (30)$$

2.7. Differenciális fotometria, változócsillagkeresés

A differenciális fotometriát a fénygörbék előállítására és ezzel változócsillagok keresésére alkalmaztam, illetve az előbbi fejezet végén leírtaknak megfelelően a csillagok „bekötésére”. Kiválasztottam több csillagot mindkét halmazban, és ezeknek vettem az átlag instrumentális fényességét, majd ehhez képest lett meghatározva a többi csillag fényessége. A fénygörbét előállító programot Csák Balázs írta. A program leellenőrzi, hogy a megadott csillagok megtalálhatóak-e minden képen. Ha igen, akkor létrehozza a fénygörbét; ha pedig nem, akkor kiírja, hogy melyik képen nincs meg. Ilyenkor új csillagokat kell keresni. Ez nálam is előfordult, azaz többször is új összehasonlító csillagokat kellett keresnem. Mivel a kis amplitudójú változókat sokkal nehezebb észrevenni, többször végig kell nézni a fénygörbét. Segítséget jelent még a magnitudo-szórás grafikon létrehozása is.

2.8. A periódusmeghatározások, fázisdiagram

A két halmazban, illetve azok látóirányában összesen 13 darab változó-gyanús csillagot találtam. Az NGC 189 esetén csak egy éjszakán készült idősor, így az ott talált változócsillagok periódusát valamint típusát nehezen lehetett pontosan meghatározni. Az IC 1434-nél négy éjszakán készült idősor. A fázisdiagramokat és a periódusok meghatározását előállító programokat Dr. Kiss L. László által írt pascal program végezte. A periódusok meghatározására fázis-diszperziós módszert használtam, röviden *PDM*-et (*Phase Dispersion Minimalization*). Ezt a módszert akkor lehet jól használni, ha a jelek nem szinuszosak, azonban periódikusak. Az eljárás lényege, hogy minden jelet eltolunk a 0 és 1 közötti intervallumba, így kirajzolódik a fázis. A fázisdiagramot egy próbaperiódussal számoljuk ki. Ilyenkor a 0 és 1 közötti intervallumot kis szakaszokra osztjuk (bin). Legyen M az említett intervallum, amelyben m darab cella van. Ekkor az összes cellába eső pontok szórását meghatározzuk. Tehát n -szer megmérve a fényességértékeket:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{k=1}^n (f_k - \langle f \rangle)^2}{n - 1} \quad (31)$$

ahol $\langle f \rangle = \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f_k$. Gyököt vonva (31)-ből kapjuk az ún. empirikus szórást:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (f_k - \langle f \rangle)^2}{n - 1}} \quad (32)$$

Ez az átlagérték körüli eltérések négyzetes átlagát adja meg. Bevezetve egy új jelölést, a következőt lehet írni:

$$S = \sum_{m=1}^M \sigma_m \quad (33)$$

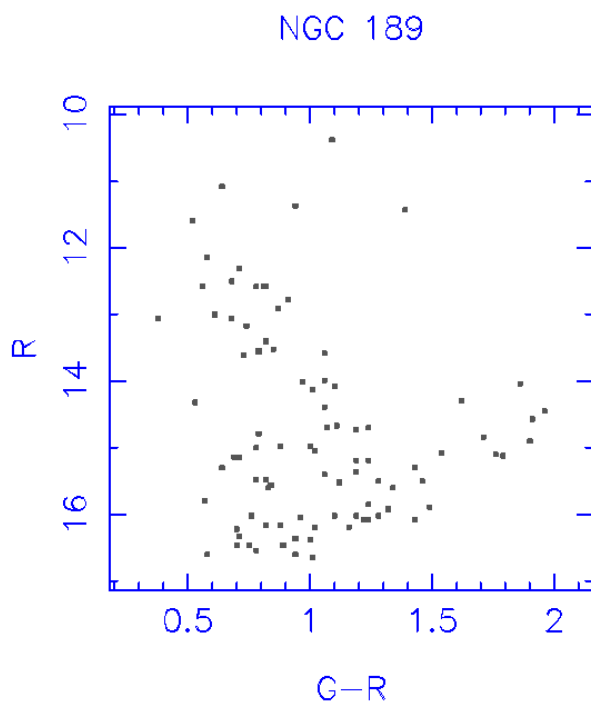
Tulajdonképpen ezt az S -t kell kiszámolni és ábrázolni a próbaperiódus függvényében. Az ábrázolt függvény globális minimuma lesz a helyes periódus. Lehetnek közel azonos nagyságú minimumok is; ilyenkor több, az ezeknek megfelelő periódust is meg kell vizsgálni. A módszer tetszőleges alakú fénygörbére alkalmazható, azonban ha többszörös periodicitás van jelen, akkor nehézkessé válhat ez a módszer.

3. Eredmények

3.1. Az NGC 189

3.1.1. A halmaz CMD-je

A nyílthalmaz a Cassiopeia csillagképben található. Égi koordinátái az FK5³ szerint: $\alpha_{2000} = 00^{\text{h}}39^{\text{m}}6$ és $\delta_{2000} = 61^{\circ}04'$. Galaktikus koordinátái: $l = 121,5, b = -1,77$. A halmazról a szakirodalomban kevés adat található. A meghatározott távolság adatok eléggé eltérők, így a vizsgálataim egyik célja az volt, hogy ezekre pontosabb értékeket számoljak. A halmazzal kapcsolatos első publikációban (Alter, 1944) 19 csillagot vizsgáltak. A csillagok átlagos távolságmodulusára $10,^{\text{m}}114$ -ot kaptak, melynek segítségével a halmaz távolsága 1490 ± 200 pc-nek adódott. A publikációban feltüntetik Collinder méréseit is, azonban hivatkozás nincsen. Az általa számolt halmaz-távolság 5200 pc. A következő publikáció szerzője, amelyben a halmaz paramétereit vizsgálták Balázs Béla volt (1961). A fotometriai méréseket RGU-rendszerben végezte el. Összesen 95 darab csillag segítségével ábrázolta a szerző a 10. ábrán látható szín-fényesség diagramot.



10. ábra. Az NGC 189 szín-fényesség diagramja RGU-ban

A G-R és B-V között a következő összefüggés írható fel (Janes & Adler, 1982): $B-V = 0,88 \cdot (G-R) - 0,18$. A diagramra egy $\log t = 7,00$ korú izokrónt illesztettek, mellyel a csillaghalmaz kora 10 millió évnak adódik. A távolságmodulusra $10,^{\text{m}}68$ kaptak, míg a vörösödés

³Fifth Fundamental Catalogue, (1988)

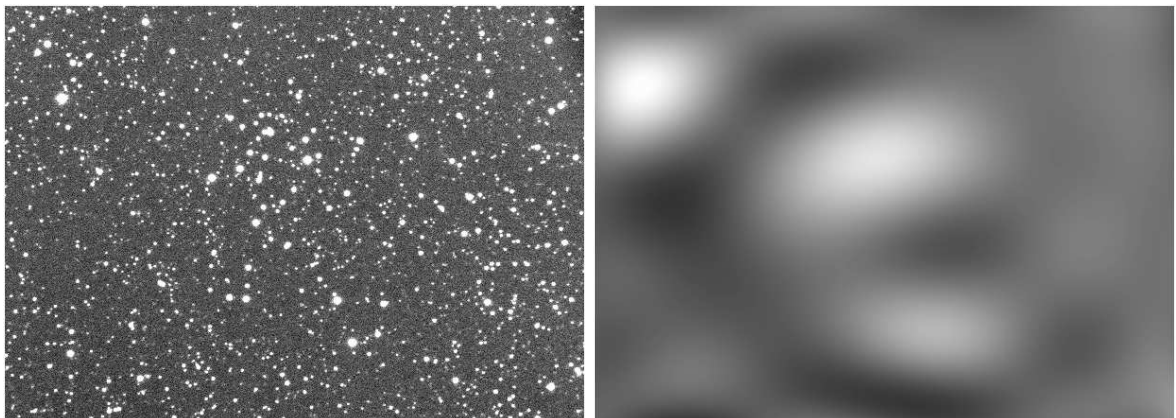
mértéke $0,^m42$. Ezek segítségével a halmaz távolságát 752 pc-re becsülték. Később Becker és Fenckart (1971) Balázs, B. adatainak felhasználásával 860 pc-re becsülték a halmaz távolságát. Az intersztelláris abszorpciót a következő módon vették figyelembe: $A_v = 3,0 \cdot E(B - V)$ a BVRI-rendszerben; míg az RGU-ban: $A_v = 2,69 \cdot (G - R)$. A későbbiekben két publikáció foglalkozik a halmazzal; azonban egyikben sem saját mérést ismertetnek. Ahumada és Lapasset (1995) távolságot nem említ, csupán annyit, hogy $\log t = 7,3$ -as izokrónt illesztettek, amellyel a halmaz kora 20 millió évnél adódik, és a színexcesszus $0,^m51$. A másik publikációban a szerzők (Kimeswenger & Weinberger, 1989) 17 csillag alapján fiatal nyílthalmazként katalogizálják és a távolságára 0,78 kpc-et adnak meg. A 3. táblázatban az eddig meghatározott távolságok láthatóak és a publikáció éve.

| Évszám | Távolság [pc] |
|--------|----------------|
| ? | 5200 |
| 1944 | 1490 ± 200 |
| 1961 | 752 |
| 1971 | 860 |
| 1989 | 780 |

3. táblázat. A meghatározott távolságok

Látható, hogy mennyire különbözőek a kapott értékek, tehát fontos lenne pontosabbá tenni a nyílthalmaz távolságát.

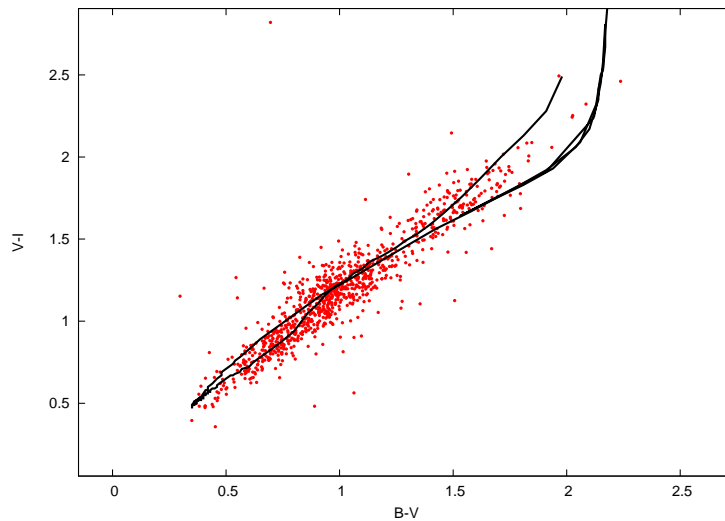
Először a csillagok vetületi sűrűségének segítségével meghatároztam a halmaz középpontjának koordinátáit. A sűrűségeloszlásról az IRAF-ban az `imsurfit` task-kal tudhatunk meg többet: **images** \Rightarrow **imfit** \Rightarrow **imsurfit**. A kapott képen a legnagyobb intenzitás az $x = 760, y = 637$ pixel-koordinátákra esett, amely az $\alpha_{2000} = 00^h39^m34,^s03$ és $\delta_{2000} = 61^\circ05'47,82''$ égi koordinátáknak felel meg. Ez viszonylag jól egyezik az FK5-ben szereplő értékekkel.



11. ábra. Az NGC 189 képe és a csillagok vetületi sűrűsége

A halmaz látszó átmérőjét szintén a csillagok vetületi sűrűségéből kaptam meg. Ehhez a halmaz meghatározott középpontjától kifelé haladva megvizsgáltam a csillagsűrűség csökkenésének menetét. 200 pixel széles körapertúrában megszámláltam a csillagokat, majd a területtel lenormálva megkaptam a vetületi csillag-koncentrációt. A módszerrel kvantitívan is megbecsülhető a látszó átmérő. Erre $7,5 \pm 0,2$ ívpercet kaptam. A csillagsűrűsége $\sim 2,5 \pm 0,03$ csillag/négyzetívperc adódott. A csillagok felületi sűrűségeloszlását egy másik módszerrel határoztam meg. Az IRAF-os eljárásnál egy harmadrendű Chebysev-függvény lett illesztve, melynek eredménye a 11. ábrán látható. A másik eljárásnál a felületi sűrűségeloszlás meghatározását *fortran*-kóddal végeztem (Gomez et al., 1993). Az itt alkalmazott függvény a Gomez et al. (1993) által használt Gauss-függvény volt. Felhasználva a később kapott távolságadat az eredmény: $\sim 17 \pm 4$ csillag/pc². Végeredményül létrejön egy kétdimenziós sűrűségkontúr-ábra, illetve egy háromdimenziós ábra. A halmaz 2D-s sűrűségkontúr-ábrája a 24. ábrán látható, míg a 3D-s sűrűségkontúr a 22. ábrán figyelhető meg. Az ábrákon jól látható a Tejútrendszer csillagainak viszonylag egyenletes eloszlása. A közepén látható sárga színű csúcs jelöli a nyílt-halmazt.

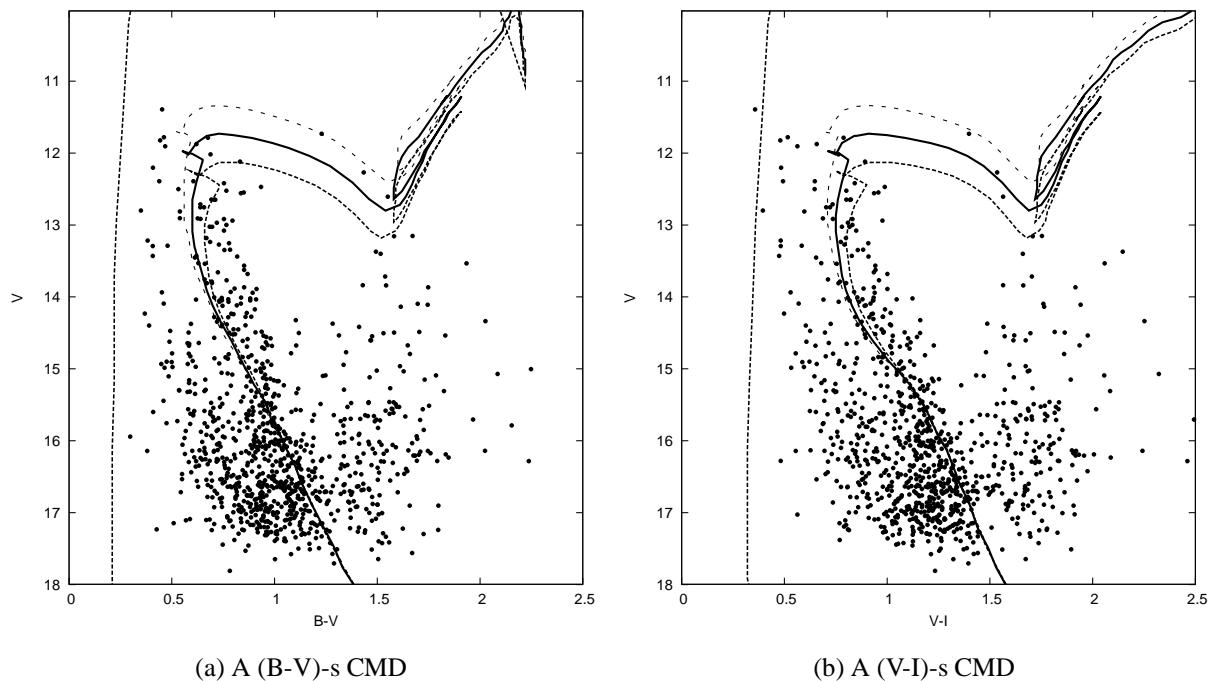
A halmaz távolságára és korára izokrón-illesztéssel tettem becslést. Ehhez először megbecsültem a vörösödés mértékét, azaz $E(B - V)$ -t. Ábrázoltam a halmaz szín–szín diagramját, majd erre illeszttem egy izokrónt (az izokrónok Bertelli et al. (1994) publikációjából származnak). Az x tengelyen való eltolás megadja az $E(B - V)$ -t, míg az y tengely mentén való eltolás az $E(V - I)$ -t adta meg.



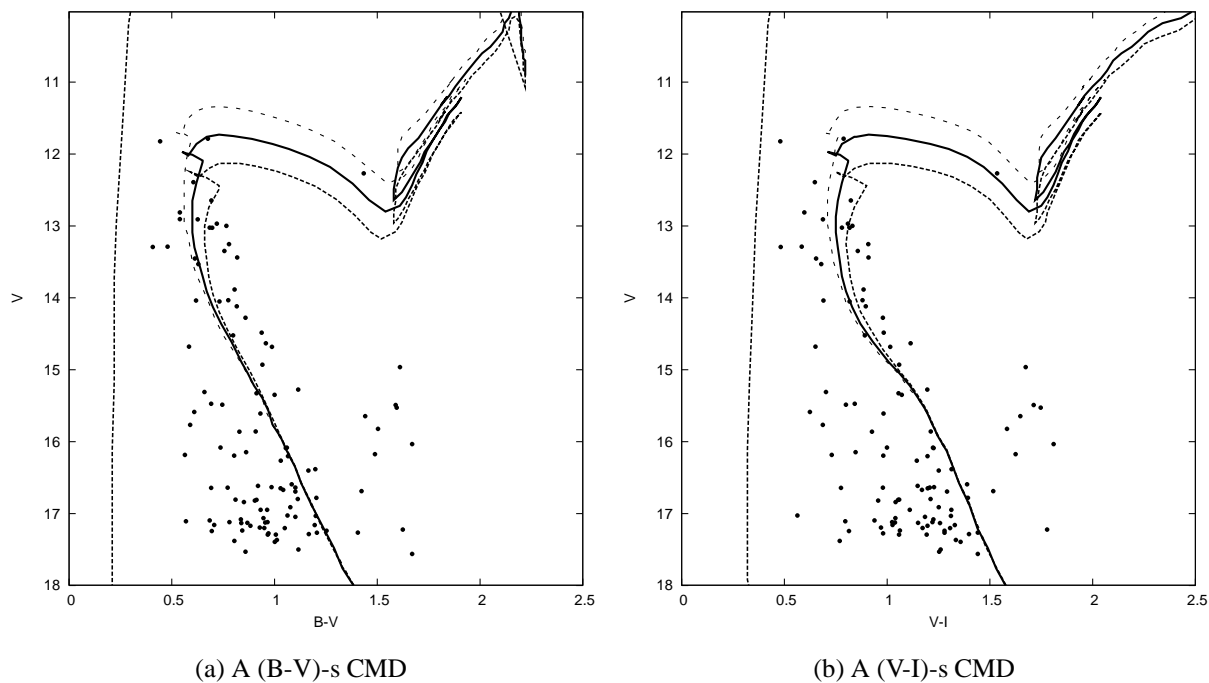
12. ábra. Az NGC 189 szín–szín diagramja

A két színexcesszus közötti kapcsolatot Bessell & Brett (1988) alapján vettem figyelembe: $E(V - I) = 1,25 \cdot E(B - V)$. Az NGC 189 esetén a kapott értékek: $E(B - V) = 0,^m6 \pm 0,^m1$ és $E(V - I) = 0,^m75 \pm 0,^m1$. A adatokkal több izokrónt illeszttem a halmaz szín–fényesség diagramjára, melyett 1119 darab csillag segítségével állítottam elő. Három izokrón közül legjobban a 8,6 korú illeszkedik (folytonos vonal). A további két izokrón kora 8,5 (felső szaggatott vonal),

és 8,7 (alsó szaggatott vonal). Az illesztések a 13. és 14. ábrán láthatóak.



13. ábra. Az NGC 189 CMD-i az illesztett izokrónokkal



14. ábra. Az NGC 189 közvetlen környezete

A 8,6 korú izokrón alapján a halmaz kora $\sim 400 \pm 100$ millió évnak adódott, míg az $m - M = 10,^m6 \pm 0,^m2$. Ezek alapján a nyílthalmaz távolságára $\sim 1318 \pm 130$ pc-et (~ 4300

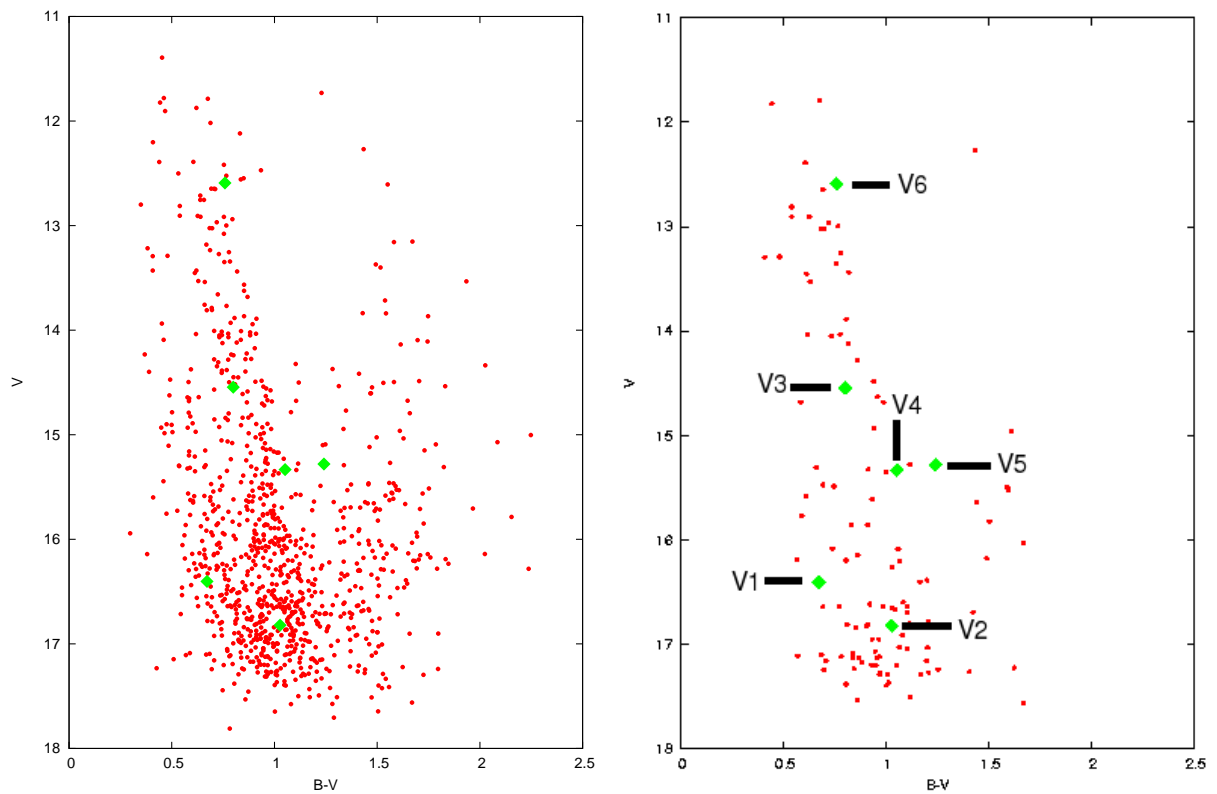
fényév) kaptam. Miután ismert a halmaz távolsága és a látszó átmérője, ki lehet számolni a valódi átmérőt is, melyre $\sim 2,9 \pm 0,3\text{pc}$ ($\sim 9,5$ fényév) adódott.

| E(B - V) | E(V - I) | m - M | Távolság [pc] | Valódi átmérő [pc] | Kor [10^6 év] |
|-------------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------------|------------------|
| $0,^m6 \pm 0,^m1$ | $0,^m75 \pm 0,^m1$ | $10,^m6 \pm 0,^m2$ | 1318 ± 130 | $2,9 \pm 0,3$ | 400 ± 100 |

4. táblázat. A meghatározott adatok

3.1.2. A talált változócsillagok

A halmazban, illetve annak látóirányában hat darab változócsillagot találtam. Mivel csak egy éjszakán készült idősr, ezért több változócsillagnál nem sikerült a periódusidőt meghatározni. A 15. ábrán a változócsillagok elhelyezkedése látható a CMD-n. Az ábráról leolvasva három vagy négy változócsillag halmaztagsága valószínűsíthető.



(a) Az NGC 189 látómezejében lévő összes csillag CMD-je

(b) Az NGC 189 közvetlen környezete

15. ábra. A talált változók az NGC 189 szín-fényesség diagramján

- **V1:**

Az égi koordináták: $\alpha_{2000} = 00^{\text{h}}38^{\text{m}}23,^{\text{s}}01$, $\delta_{2000} = 60^{\circ}57'13,5''$. Feltehetőleg egy fedési kettős, a változás amplitudója $\sim 0,^{\text{m}}6$. A bal oldalon látható a főminimum, jobb szélen pedig egy gyenge mellékminimum. Ha feltételezzük, hogy a pálya közel kör alakú, akkor a teljes periódus 0,5 nap körüli lehet. A CMD-n való elhelyezkedés alapján feltehetőleg nem halmaztag. A csillag színindexei: $(B - V) = 0,^{\text{m}}67$, $(V - I) = 1,^{\text{m}}06$, $(V - R) = 0,^{\text{m}}45$; a látszó fényessége pedig: $V = 16,^{\text{m}}4$.

- **V2:**

Az égi koordináták: $\alpha_{2000} = 00^{\text{h}}38^{\text{m}}23,^{\text{s}}85$, $\delta_{2000} = 61^{\circ}16'44,18''$. Feltehetőleg egy fedési kettős, a változás amplitudója $\sim 0,^{\text{m}}5$. A periódus nem meghatározható. A csillag színindexei: $(B - V) = 1,^{\text{m}}03$, $(V - I) = 1,^{\text{m}}56$, $(V - R) = 0,^{\text{m}}72$; a látszó fényessége pedig: $V = 16,^{\text{m}}82$. A CMD-n való elhelyezkedés alapján valószínűsíthető a halmaztagság.

- **V3:**

Az égi koordináták: $\alpha_{2000} = 00^{\text{h}}38^{\text{m}}48,^{\text{s}}94$, $\delta_{2000} = 61^{\circ}15'55,76''$. Feltehetőleg egy δ Scuti-típusú változócsillag, a változás amplitudója $\sim 0,^{\text{m}}07$. A típus pontos meghatározása további vizsgálatokat igényel. A csillag színindexei: $(B - V) = 0,^{\text{m}}8$, $(V - I) = 1,^{\text{m}}09$, $(V - R) = 0,^{\text{m}}51$; a látszó fényessége pedig: $V = 14,^{\text{m}}54$. A szín-fényesség diagramon elfoglalt helye alapján valószínű, hogy halmaztag.

- **V4:**

Az égi koordináták: $\alpha_{2000} = 00^{\text{h}}39^{\text{m}}06,^{\text{s}}08$, $\delta_{2000} = 61^{\circ}09'10,86''$. Feltehetőleg ez is fedési kettős, a változás amplitudóját nem lehet megállapítani. A periódus valószínűleg 0,8 napnál több. A csillag színindexei: $(B - V) = 1,^{\text{m}}05$, $(V - I) = 1,^{\text{m}}23$, $(V - R) = 0,^{\text{m}}54$; a látszó fényessége pedig: $V = 15,^{\text{m}}33$. A CMD alapján lehet, hogy a halmaztagja.

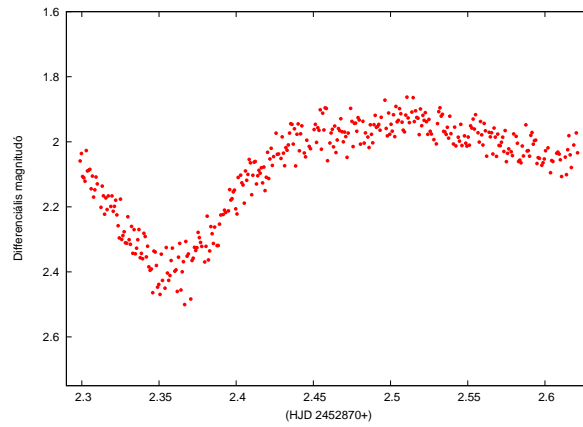
- **V5:**

Az égi koordináták: $\alpha_{2000} = 00^{\text{h}}40^{\text{m}}06,^{\text{s}}01$, $\delta_{2000} = 61^{\circ}16'38,30''$. Valószínűleg egy multiperódusú δ Scuti-szerű változócsillag. A periódus értéke: $0,32 \pm 0,05$ nap. A változás amplitudója $\sim 0,^{\text{m}}1$. A csillag színindexei: $(B - V) = 1,^{\text{m}}24$, $(V - I) = 0,^{\text{m}}77$, $(V - R) = 1,^{\text{m}}42$; a látszó fényessége pedig: $V = 15,^{\text{m}}28$. A CMD-n való elhelyezkedése alapján valószínűleg nem halmaztagról van szó.

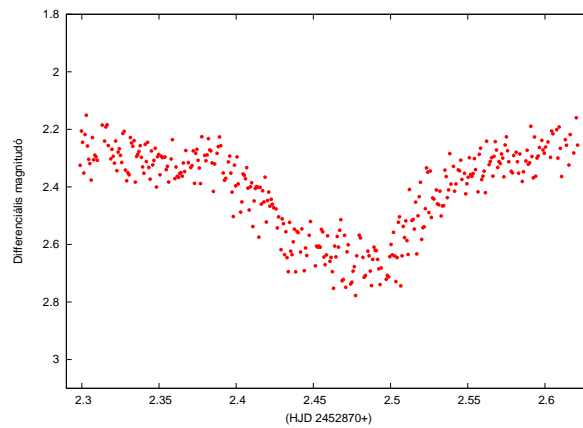
- **V6:**

Az égi koordináták: $\alpha_{2000} = 00^{\text{h}}40^{\text{m}}11,^{\text{s}}37$ és $\delta_{2000} = 61^{\circ}03'48,21''$. Ez egy W UMa-típusú változócsillag. A főminimum változásának amplitudója $\sim 0,^{\text{m}}07$, míg a mellékminimumnak $\sim 0,^{\text{m}}05$. A periódus értéke: $0,31 \pm 0,02$ nap. A csillag színindexei: $(B - V) =$

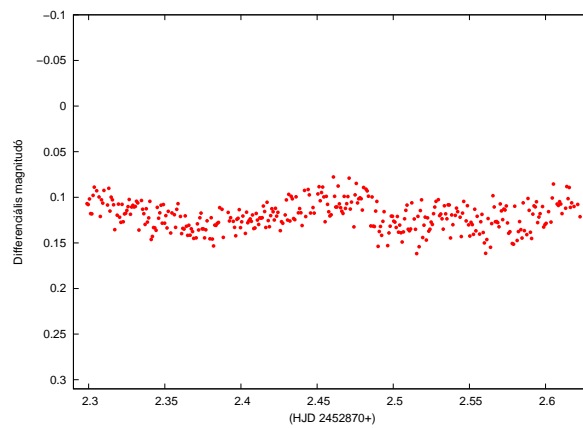
$0,^m76$, $(V - I) = 0,^m43$, $(V - R) = 0,^m91$; a látszó fényessége pedig: $V = 12,^m59$. A változó a szín-fényesség diagramon elfoglalt pozíciója alapján valószínűleg halmaztag.



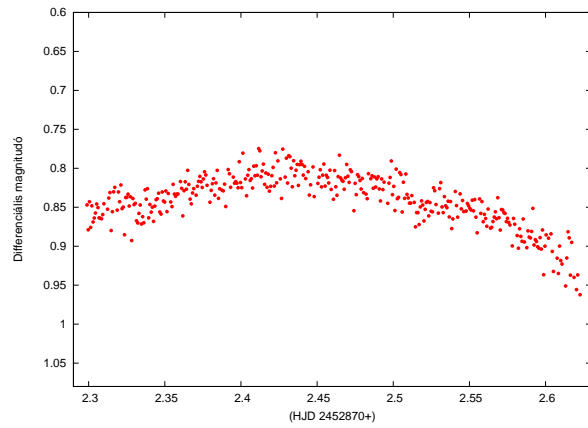
16. ábra. A V1 V szűrős fénygörbéje



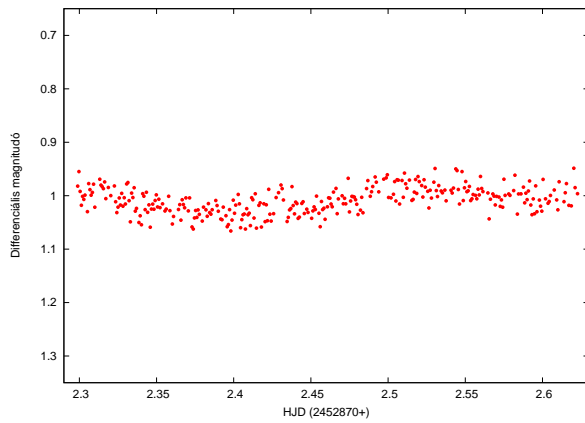
17. ábra. A V2 V szűrős fénygörbéje



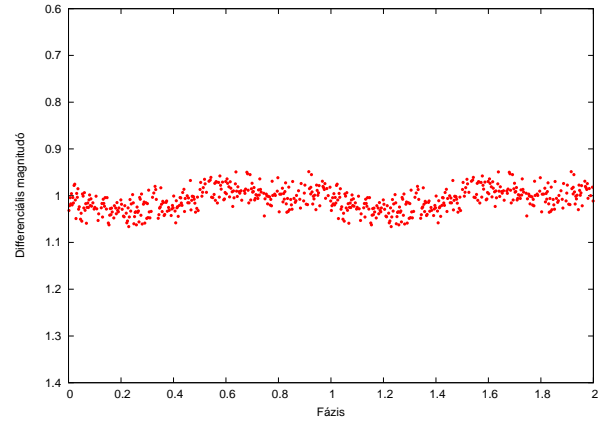
18. ábra. A V3 V szűrős fénygörbéje



19. ábra. A V4 V szűrős fénygörbéje

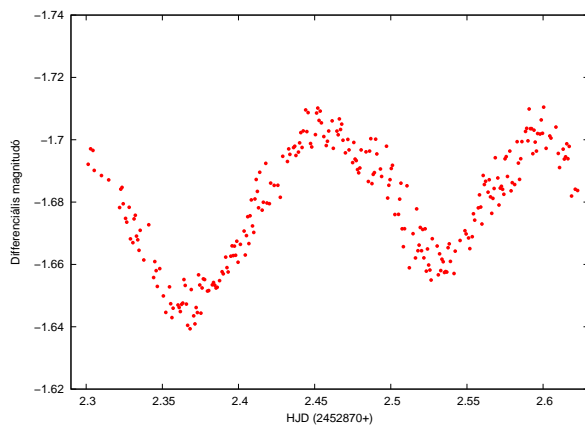


(a)

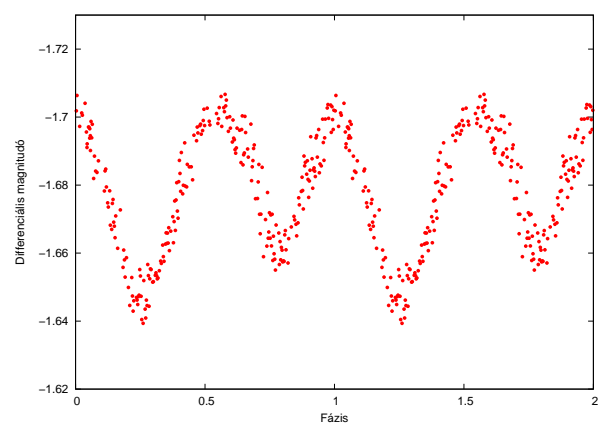


(b) A periódus: $\sim 0,32 \pm 0,05$ nap

20. ábra. A V5 V szűrős fénygörbéje és fázisdiagramja



(a)

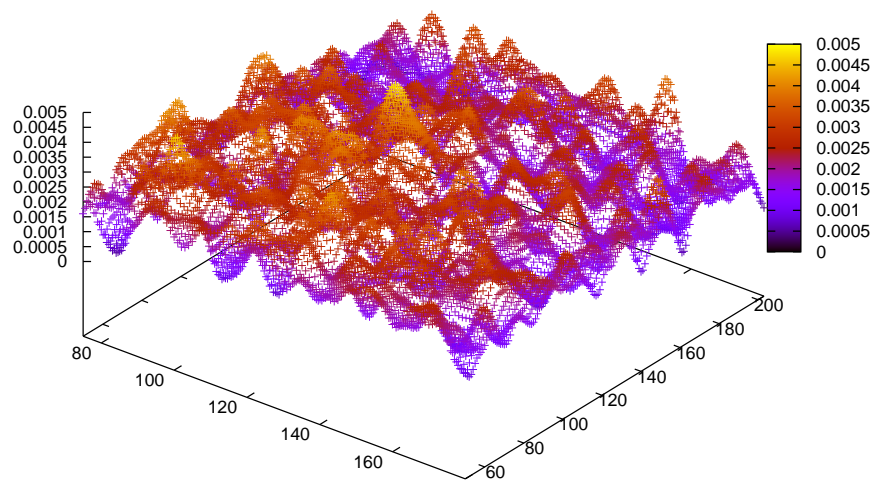


(b) A periódus: $\sim 0,31 \pm 0,02$ nap

21. ábra. A V6 V szűrős fénygörbéje és fázisdiagramja

| Változók | V | (B - V) | (V - I) | (V - R) | Periódus [nap] | Amplitudó |
|----------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|--|
| V1 | 16, ^m 4 | 0, ^m 67 | 1, ^m 06 | 0, ^m 45 | ~ 0,5 | ~ 0, ^m 6 |
| V2 | 16, ^m 82 | 1, ^m 03 | 1, ^m 56 | 0, ^m 72 | - | ~ 0, ^m 5 |
| V3 | 14, ^m 54 | 0, ^m 8 | 1, ^m 09 | 0, ^m 51 | - | ~ 0, ^m 07 |
| V4 | 15, ^m 33 | 1, ^m 05 | 1, ^m 23 | 0, ^m 54 | >0,8 | - |
| V5 | 15, ^m 28 | 1, ^m 24 | 0, ^m 77 | 1, ^m 41 | 0,32 ± 0,05 | ~ 0, ^m 1 |
| V6 | 12, ^m 59 | 0, ^m 76 | 0, ^m 43 | 0, ^m 91 | 0,31 ± 0,02 | ~ 0, ^m 07 és ~ 0, ^m 05 |

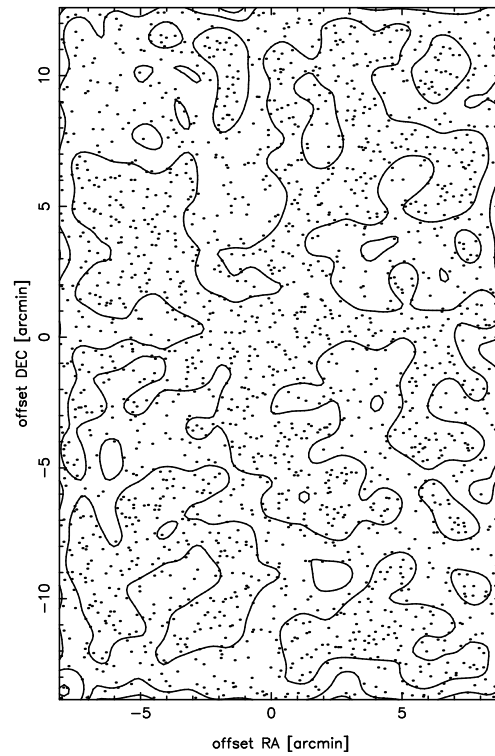
5. táblázat. A változócsillagok összefoglalása



22. ábra. Az NGC 189 3D-s sűrűségkontúr-ábrája



23. ábra. Az NGC 189 színes képe



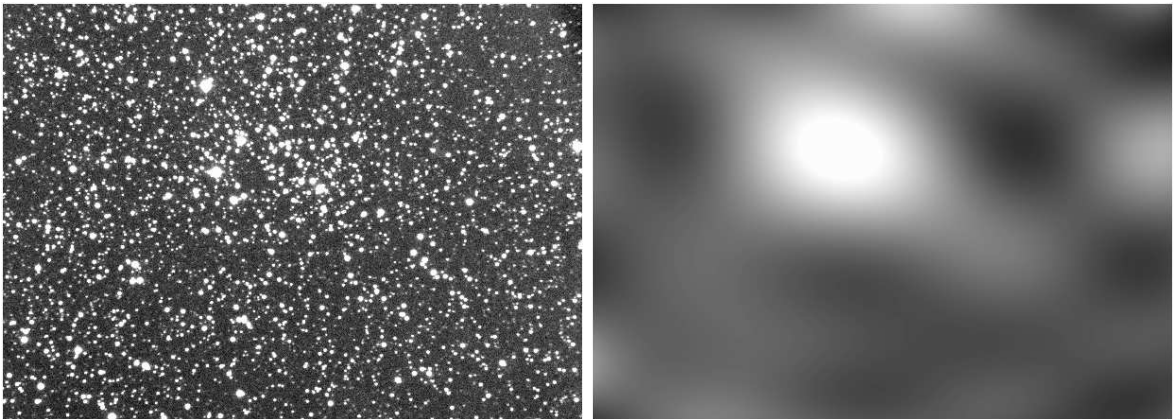
24. ábra. A halmaz 2D-s sűrűségkontúr-ábrája

3.2. Az IC 1434

3.2.1. A halmaz CMD-je

A halmaz a Cygnus (Hattyú) csillagképben található meg. Égi koordinátái az FK5 szerint: $\alpha_{2000} = 22^{\text{h}}10^{\text{m}}30^{\text{s}}$ és $\delta_{2000} = 52^{\circ}50'$. Galaktikus koordinátái: $l = 99,^{\circ}94$, $b = -2,^{\circ}70$. A halmazról a szakirodalomban rendkívül kevés adat áll rendelkezésre. Az egyik cél éppen ezért az volt, hogy minél több információt kapjak a nyílthalmazzal kapcsolatban. Tulajdonképpen két publikáció foglalkozik a halmazzal. Az egyik Renson (1988) által írt; a másikat Popova és Kraicheva (1984) írta. Lényeges információ egyikben sem hangzik el, így mindenképpen érdemes volt a halmazt megvizsgálni.

A halmaz vetületi csillagsűrűségét és abból a látszó átmérőt, valamint a csillagok sűrűségeloszlását hasonlóan határoztam meg, mint az előző nyílthalmaz esetén. A körapertúra szélessége itt 150 pixel volt. Az IC 1434-re a látszó átmérő $5,65 \pm 0,03$ ívpercnek adódott, míg a csillagsűrűség $\sim 5,6 \pm 0,05$ csillag/négyzetívperc. A csillagok felületi sűrűségeloszlás-vizsgálatának eredménye: $\sim 8 \pm 0,5$ csillag/pc². A halmaz két-, illetve háromdimenziós sűrűségkontúr-ábrája a 40. ábrán és 38. ábrán láthatóak.



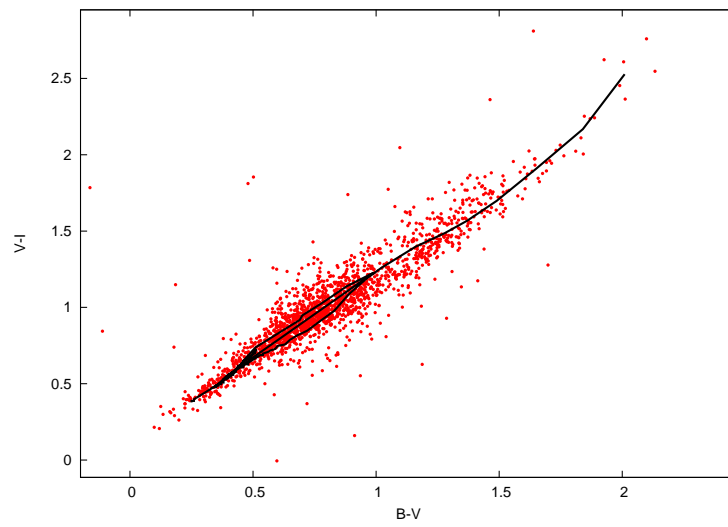
25. ábra. Az IC 1434 képe és a csillagok vetületi sűrűsége

A legnagyobb intenzitás az $x = 684$ és $y = 638$ pixel-koordinátákra esett; ezek égi koordinátái: $\alpha_{2000} = 22^{\text{h}}10^{\text{m}}33,^{\text{s}}47$ és $\delta_{2000} = 52^{\circ}49'20,96''$.

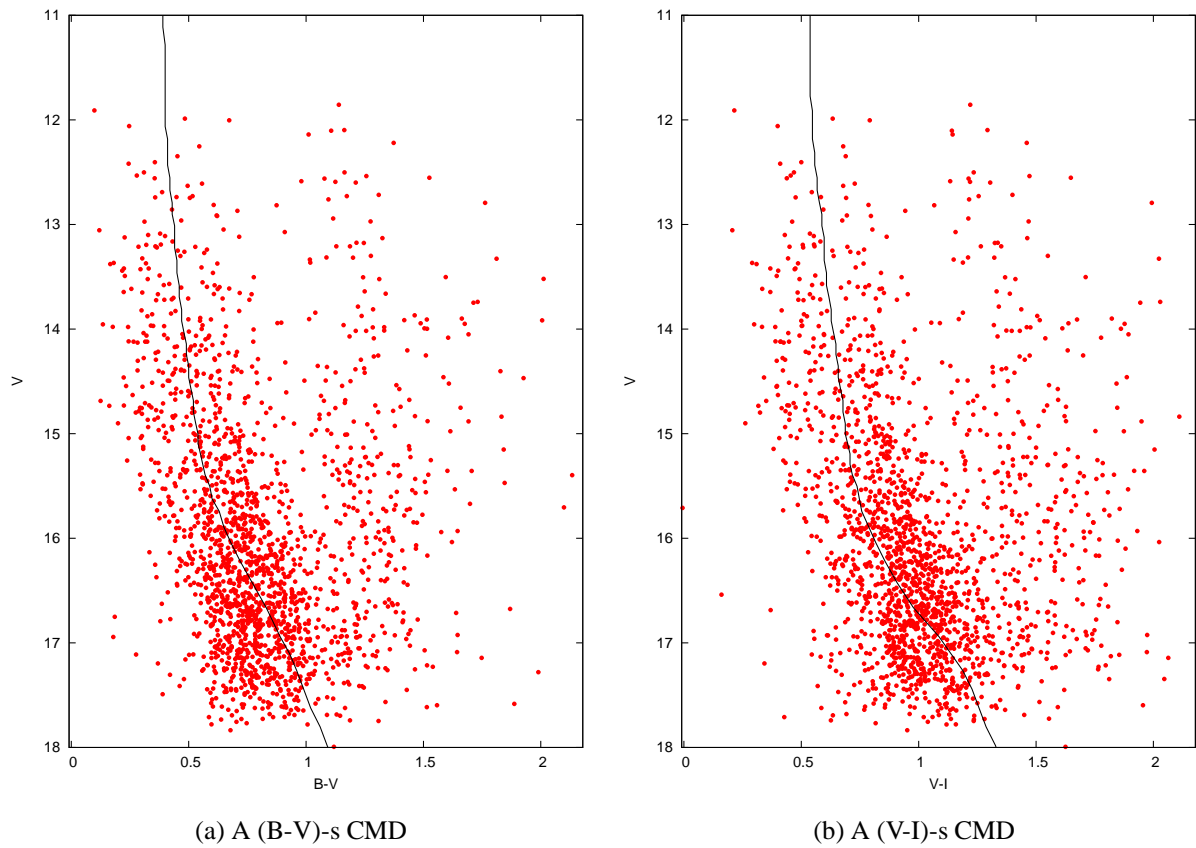
A halmaz korára és távolságára szintén izokron-illesztéssel tettem becslést. Itt azonban nagyon sűrű volt a csillagmező, és nehezen lehetett elkülöníteni a halmaz csillagaitól, a háttér- és előtércsillagokat. Emiatt nagyobb szórású CMD-t kaptam. A halmaz szín–szín diagramjának (24. ábra) segítségével megbecsült színexcesszusok: $E(B - V) = 0,^{\text{m}}63 \pm 0,^{\text{m}}02$ és $E(V - I) = 0,^{\text{m}}79 \pm 0,^{\text{m}}03$.

A szín-fényesség diagramot 2388 darab csillag segítségével állítottam elő, melyre $\log t = 7,2$ -es korú izokrón-t illesztettem (25. ábra), azaz a nyílthalmaz kora igen fiatalnak adódik (~ 16 millió év). Az $m - M = 12,^{\text{m}}3 \pm 0,^{\text{m}}05$, így ezzel a nyílthalmaz távolságára $\sim 2884 \pm 70$ pc

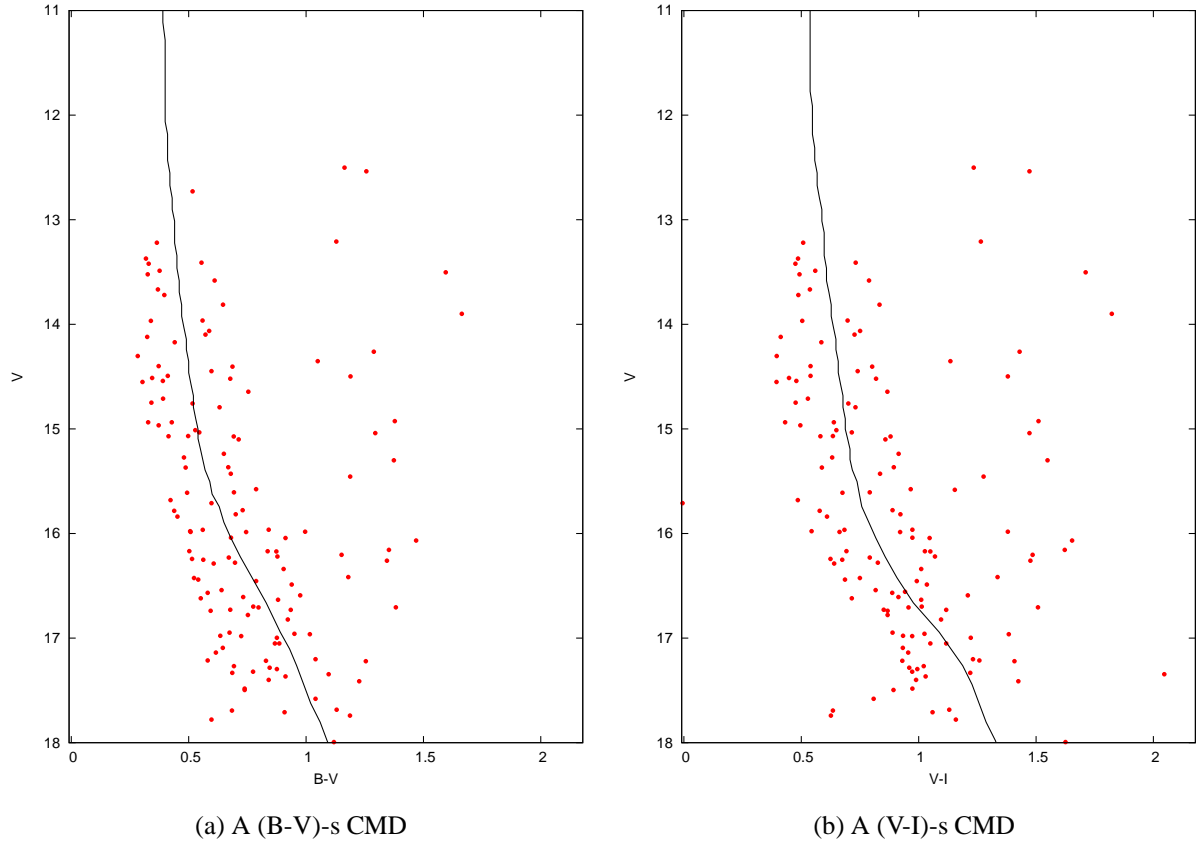
eket (~ 9400 fényév) kaptam, míg a kapott látszó átmérőből és a halmaz távolságából a valódi átmérőre $4,74 \pm 0,12$ pc-eket (~ 15 fényév) kaptam.



26. ábra. Az IC 1434 szín-szín diagramja



27. ábra. Az IC 1434 CMD-i az illesztett izokrónnal



28. ábra. Az IC 1434 közvetlen környezete

| $E(B - V)$ | $E(V - I)$ | $m - M$ | Távolság [pc] | Valódi átmérő [pc] | Kor [10^6 év] |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------|--------------------|------------------|
| $0,^m63 \pm 0,^m02$ | $0,^m79 \pm 0,^m03$ | $12,^m3 \pm 0,^m05$ | 2884 ± 70 | $4,74 \pm 0,12$ | 16 |

6. táblázat. A meghatározott adatok

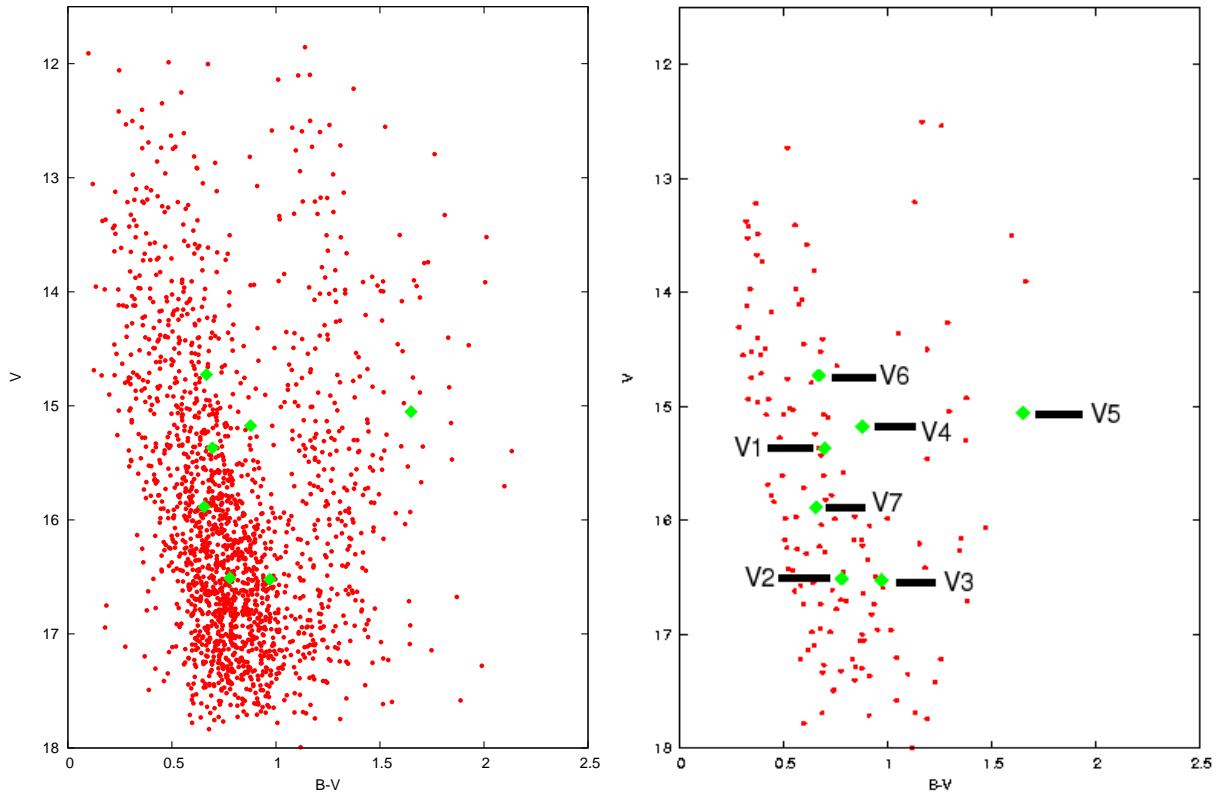
3.2.2. A talált változócsillagok

A halmazban, illetve annak látóirányában összesen hét darab változócsillagot találtam. Mivel ennél a halmaznál már négy éjszaka készült idősor, ezért több csillagnak meg lehetett határozni a periódusát. A 29. ábrán a változócsillagok elhelyezkedése látható a CMD-n.

Mivel nagy a CMD diszperziója, ezért nehéz megbecsülni, hogy melyik változócsillag halmaztag és melyik nem. Ennek pontosabb megállapítása további vizsgálatokat igényel, például a halmaz szín-fényesség diagramjának elkülönítését a Tejút CMD-jétől.

- **V1:**

Az égi koordináták: $\alpha_{2000} = 22^h09^m48,^s55$ és $\delta_{2000} = 52^\circ38'12,18''$. Valószínűleg egy δ Scuti változócsillag. A periódus értékét nehéz megbecsülni, több értéket is számoltam. Ezeket mutatja 30. ábra. A változás amplitudója $\sim 0,^m16$. A csillag színindexei: $(B - V) = 0,^m69$, $(V - I) = 0,^m39$, $(V - R) = 0,^m27$; a látszó fényessége pedig: $V = 15,^m37$.



(a) Az IC 1434 látómezejében lévő összes csillag CMD-je

(b) Az IC 1434 közvetlen környezetének CMD-je

29. ábra. A talált változócsillagok a szín–fényesség diagramon

- **V2:**

Az égi koordináták: $\alpha_{2000} = 22^{\text{h}}09^{\text{m}}51,91$ és $\delta_{2000} = 52^{\circ}50'27,04''$. Feltehetőleg egy RR Lyrae-gyanús változócsillag, melynek periódusa $0,49 \pm 0,02$ nap. A változócsillag periódusa és amplitudója megerősíti RR Lyrae voltát, és a periódus ($\sim 12^{\text{h}}$) egyúttal kizárja azt, hogy δ Scuti típusú legyen a csillag. A csillag színindexei: $(B - V) = 0,^{\text{m}}78$, $(V - I) = 0,^{\text{m}}34$, $(V - R) = 0,^{\text{m}}66$; a látszó fényessége pedig: $V = 16,^{\text{m}}51$.

- **V3:**

Az égi koordináták: $\alpha_{2000} = 22^{\text{h}}09^{\text{m}}59,08$ és $\delta_{2000} = 52^{\circ}49'13,6''$. Ez egy W UMa-típusú változócsillag. A periódus értéke: $0,29 \pm 0,01$ nap. A változás amplitudója $\sim 0,^{\text{m}}36$ főminimumban és $\sim 0,^{\text{m}}34$ mellékminimumban. A csillag színindexei: $(B - V) = 0,^{\text{m}}97$, $(V - I) = 0,^{\text{m}}52$, $(V - R) = 0,^{\text{m}}33$; a látszó fényessége pedig: $V = 16,^{\text{m}}52$.

- **V4:**

Az égi koordináták: $\alpha_{2000} = 22^{\text{h}}10^{\text{m}}34,97$ és $\delta_{2000} = 52^{\circ}38'30,31''$. Ez is egy W UMa-típusú változócsillag. A periódus értéke: $0,29 \pm 0,02$ nap. A változás amplitudója $\sim 0,^{\text{m}}14$ főminimumban, míg mellékminimumban $\sim 0,^{\text{m}}1$. A csillag színindexei: $(B - V) =$

$0,^m88$, $(V - I) = 0,^m47$, $(V - R) = 0,^m34$; a látszó fényessége pedig: $V = 15,^m17$. A szín-fényesség diagramon való elhelyezkedés alapján a változócsillag valószínűleg nem halmaztag.

- **V5:**

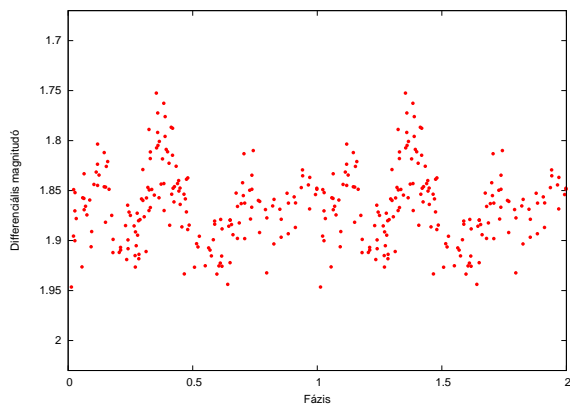
Az égi koordináták: $\alpha_{2000} = 22^h10^m35,^s76$ és $\delta_{2000} = 52^\circ59'20,47''$. Mivel nincs elég adat, ezért nehéz megállapítani a változócsillag típusát. Valószínűleg fedési kettős, esetleg W UMa-típusú csillag. A periódust itt is nagyon nehéz megállapítani, ezért több periódussal számoltam. Ezek eredményét mutatja a 34. ábra. A csillag színindexei: $(B - V) = 1,^m65$, $(V - I) = 0,^m66$, $(V - R) = 0,^m83$; a látszó fényessége pedig: $V = 15,^m05$. A CMD-n való elhelyezkedés alapján a változócsillag valószínűleg nem halmaztag.

- **V6:**

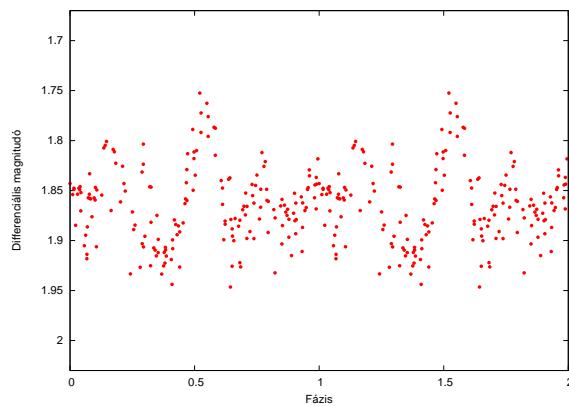
Az égi koordináták: $\alpha_{2000} = 22^h10^m42,^s58$ és $\delta_{2000} = 52^\circ45'49,99''$. Egy W UMa-típusú változócsillag. A periódus értéke: $0,41 \pm 0,01$ nap. A változás amplitudója $\sim 0,^m17$ főminimum idején és a mellékminimum idején $\sim 0,^m12$. A csillag színindexei: $(B - V) = 0,^m67$, $(V - I) = 0,^m27$, $(V - R) = 0,^m22$; a látszó fényessége pedig: $V = 14,^m72$.

- **V7:**

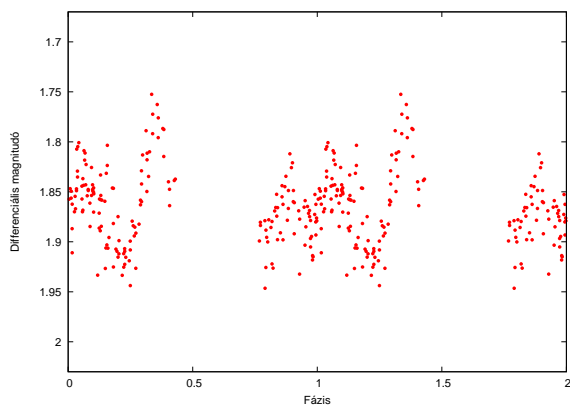
Az égi koordináták: $\alpha_{2000} = 22^h10^m46,^s62$ és $\delta_{2000} = 52^\circ43'16,39''$. Ez egy W UMa-típusú csillag vagy egy nagy amplitudójú δ Scuti változócsillag. A periódus értéke: $0,44 \pm 0,01$ vagy $0,22 \pm 0,01$ nap. A változás amplitudója főminimumban $\sim 0,^m27$, mellékminimumban $\sim 0,^m25$ vagy pedig $\sim 0,^m26$. A csillag színindexei: $(B - V) = 0,^m65$, $(V - I) = 0,^m25$, $(V - R) = 0,^m19$; a látszó fényessége pedig: $V = 15,^m89$.



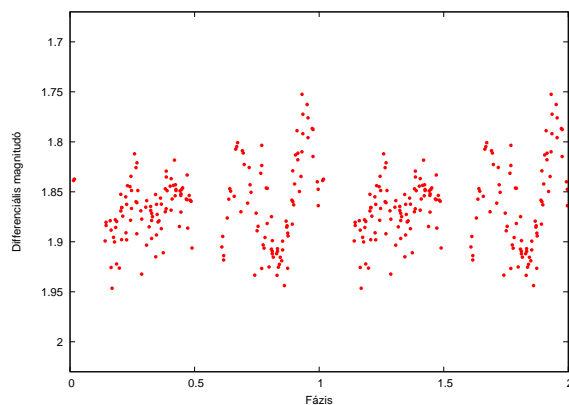
(a) Periódus: $0,27 \pm 0,01$ nap



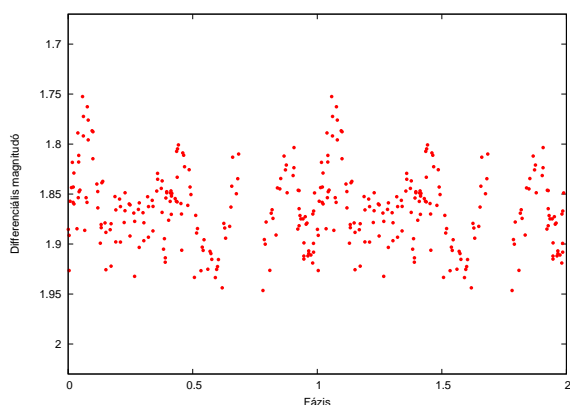
(b) Periódus: $0,28 \pm 0,01$ nap



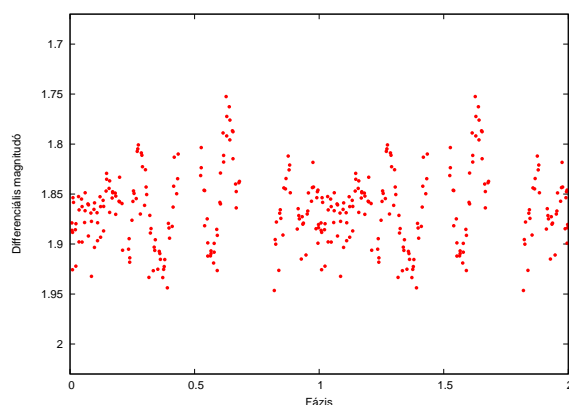
(c) Periódus: $0,36 \pm 0,01$ nap



(d) Periódus: $0,4 \pm 0,02$ nap

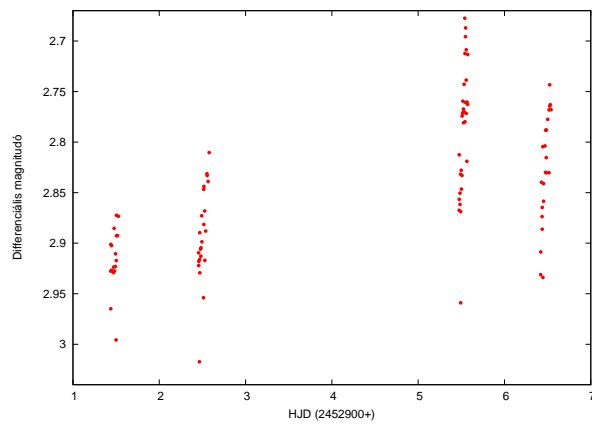


(e) Periódus: $0,42 \pm 0,01$ nap

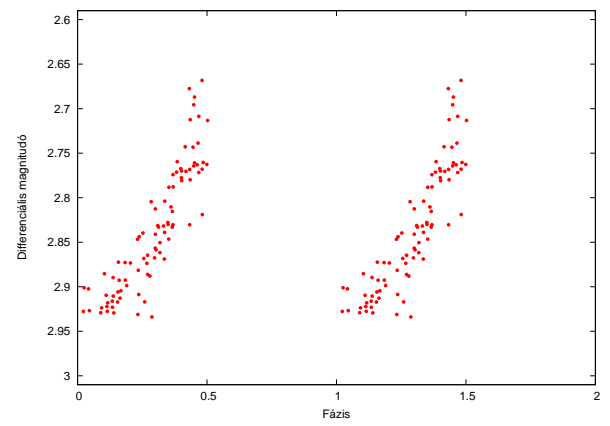


(f) Periódus: $0,64 \pm 0,01$ nap

30. ábra. A V1 különböző periódusokkal

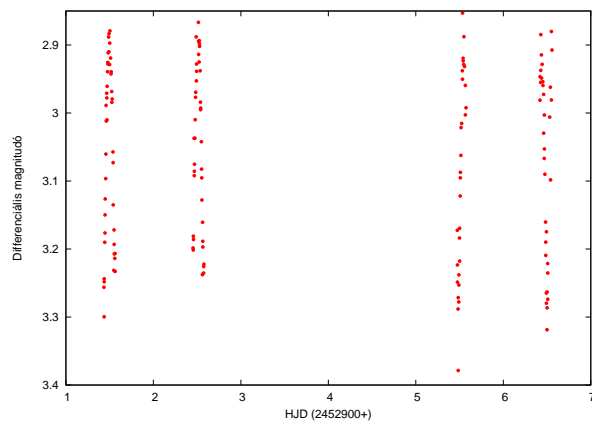


(a)

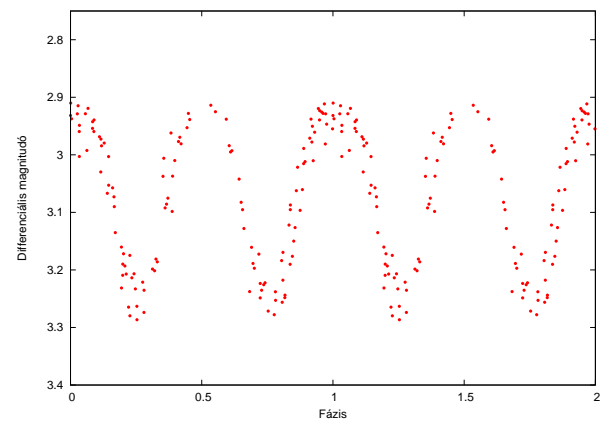


(b) Periódus: $\sim 0,49 \pm 0,02$ nap

31. ábra. A V2 V szűrős fénygörbéje és fázisdiagramja

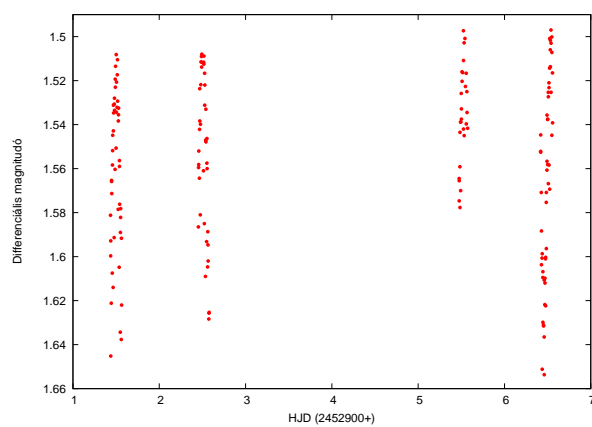


(a)

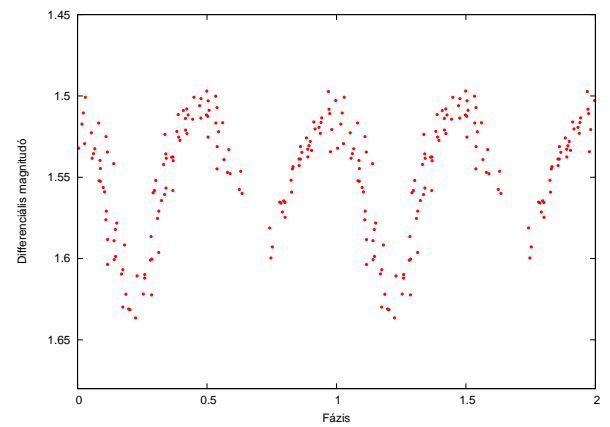


(b) A periódus: $\sim 0,29 \pm 0,01$ nap

32. ábra. A V3 V szűrős fénygörbéje és fázisdiagramja

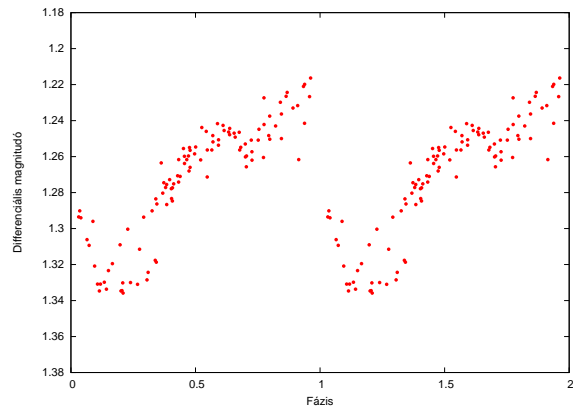


(a)

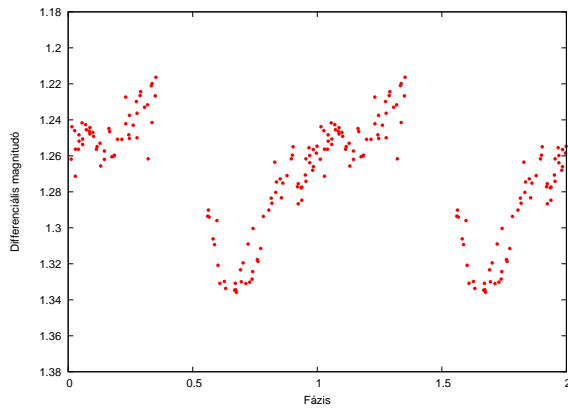


(b) A periódus: $\sim 0,29 \pm 0,02$ nap

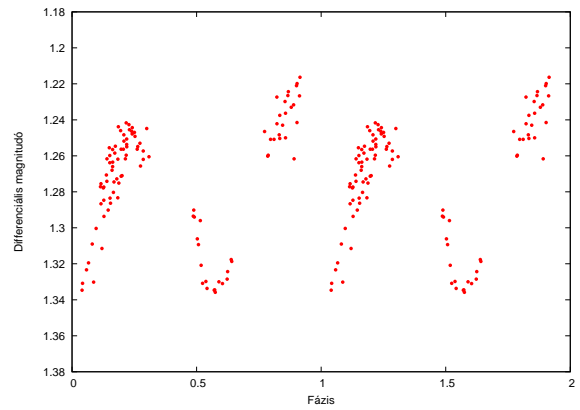
33. ábra. A V4 V szűrős fénygörbéje és fázisdiagramja



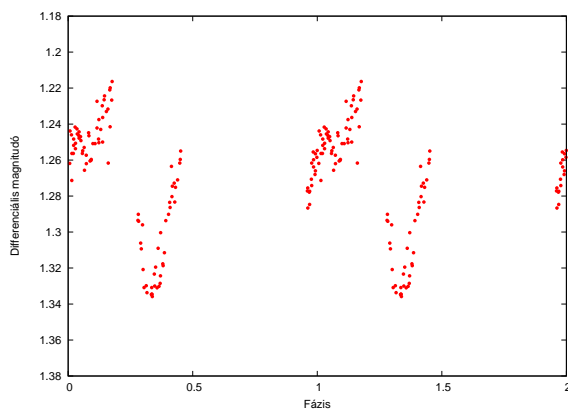
(a) Periódus: $0,35 \pm 0,01$ nap



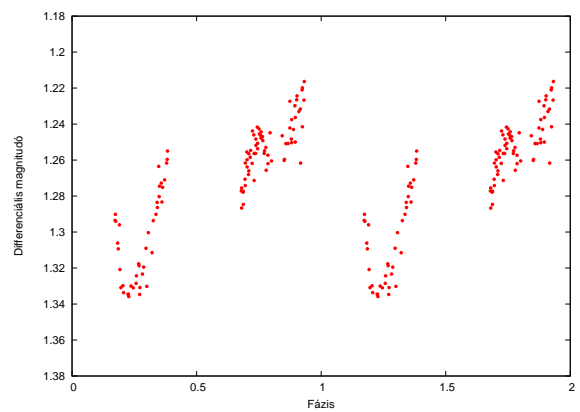
(b) Periódus: $0,54 \pm 0,01$ nap



(c) Periódus: $0,7 \pm 0,01$ nap

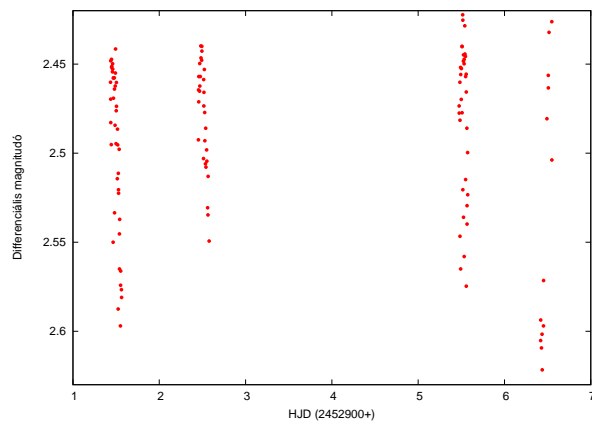


(d) Periódus: $1,08 \pm 0,01$ nap

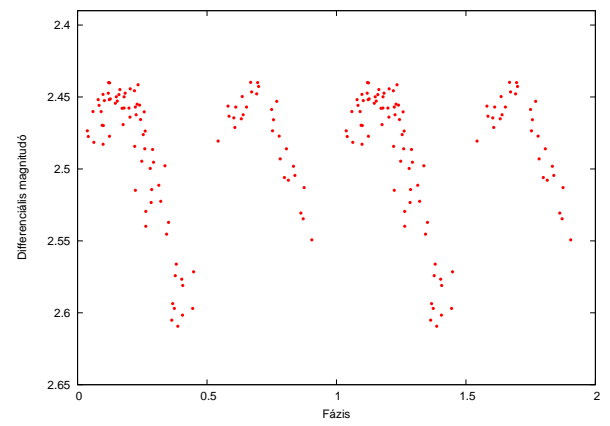


(e) Periódus: $1,13 \pm 0,01$ nap

34. ábra. A V5 különböző periódusokkal

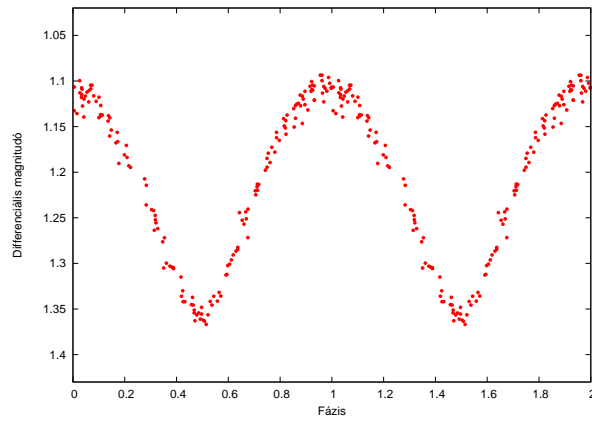


(a)

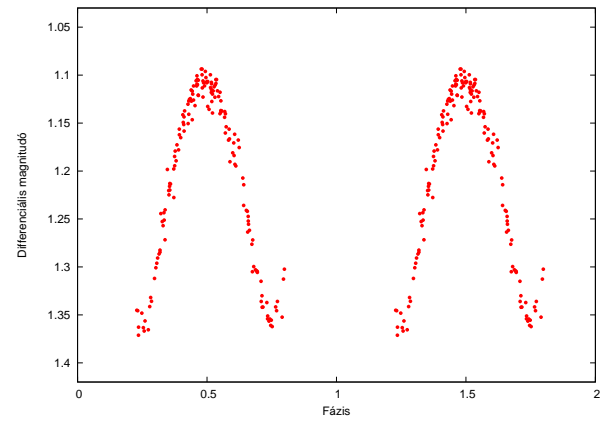


(b) A periódus: $\sim 0,41 \pm 0,01$ nap

35. ábra. A V6 V szűrős fénygörbéje és fázisdiagramja

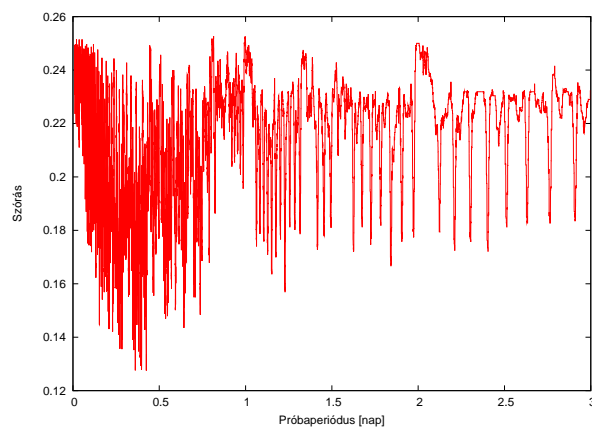


(a) A periódus: $\sim 0,22 \pm 0,01$ nap

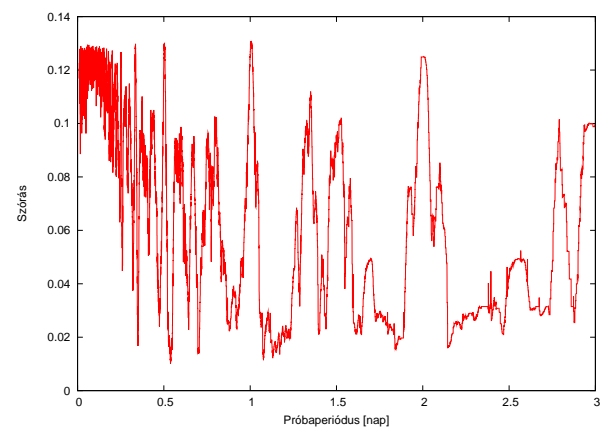


(b) A periódus: $\sim 0,44 \pm 0,01$ nap

36. ábra. A V7 két fázisdiagramja



(a) A V1 fázisdiszperziós spektruma

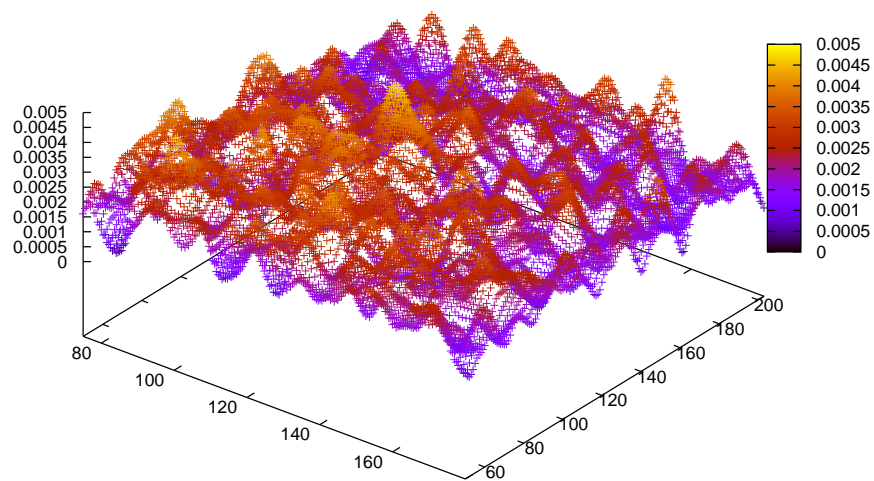


(b) A V5 fázisdiszperziós spektruma

37. ábra. A V1 és V5 PDM-spektruma

| Változók | V | (B - V) | (V - I) | (V - R) | Periódus [nap] | Amplitudó |
|----------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|--|
| V1 | 15, ^m 37 | 0, ^m 69 | 0, ^m 39 | 0, ^m 27 | - | ~ 0, ^m 16 |
| V2 | 16, ^m 51 | 0, ^m 79 | 0, ^m 34 | 0, ^m 66 | 0,49 ± 0,02 | - |
| V3 | 16, ^m 52 | 0, ^m 97 | 0, ^m 52 | 0, ^m 33 | 0,29 ± 0,01 | ~ 0, ^m 34 és ~ 0, ^m 36 |
| V4 | 15, ^m 17 | 0, ^m 88 | 0, ^m 47 | 0, ^m 34 | 0,29 ± 0,02 | ~ 0, ^m 14 és ~ 0, ^m 1 |
| V5 | 15, ^m 05 | 1, ^m 65 | 0, ^m 66 | 0, ^m 83 | - | - |
| V6 | 14, ^m 72 | 0, ^m 67 | 0, ^m 27 | 0, ^m 22 | 0,41 ± 0,01 | ~ 0, ^m 17 és ~ 0, ^m 12 |
| V7 | 15, ^m 89 | 0, ^m 65 | 0, ^m 25 | 0, ^m 19 | 0,22 ± 0,01 vagy 0,44 ± 0,01 | ~ 0, ^m 26; ~ 0, ^m 27 és ~ 0, ^m 25 |

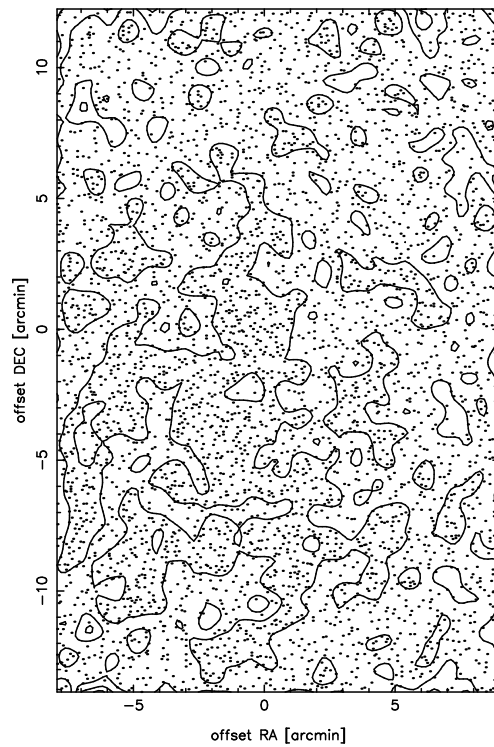
7. táblázat. A változócsillagok összefoglalása



38. ábra. Az IC 1434 3D-s sűrűségkontúr-ábrája



39. ábra. Az IC 1434 színes képe



40. ábra. A halmaz 2D-s sűrűségkontúr-ábrája

4. Összefoglalás

2003 augusztusában és szeptemberében összesen nyolc éjszakán készítettem felvételeket, melyekből hat éjszaka méréseit használtam fel. A mérések eredményei a következők:

- A két halmazban, illetve annak irányában összesen 13 darab változócsillagot találtam. Ezek közül 5 db W UMa-típusú, 3 db más típusú fedési kettős, 3 db δ Scuti-típusú, és 1 db W UMa-típusú vagy nagy amplitudójú δ Scuti, valamint 1 db RR Lyrae-gyanús változócsillag.
- Az NGC 189 jelű nyílthalmaz távolságát a kapott adatokból 1318 ± 130 pc-ra becsültem, a korát pedig 400 ± 100 millió évnél. A valódi átmérőt $2,9 \pm 0,3$ pc-nak számoltam. A csillagok vetületi sűrűségére (ρ_v) $2,5 \pm 0,03$ csillag/négyzetívperc-et, míg a felületi sűrűségeloszlásra (ρ_f) 17 ± 4 csillag/pc²-et kaptam.
- Az IC 1434 jelű nyílthalmazra a távolság és a kor: 2884 ± 70 pc és 16 millió év; míg a valódi átmérő: $4,7 \pm 0,05$ pc. A csillagok vetületi sűrűségére (ρ_v) $5,6 \pm 0,05$ csillag/négyzetívperc-et, míg a felületi sűrűségeloszlásra (ρ_f) $8 \pm 0,5$ csillag/pc²-et kaptam.

Tervezem ezen két halmaz további vizsgálatát, különös tekintettel a talált változócsillagokra. Fontos lenne az IC 1434 nyílthalmaz szín–fényesség diagramjának pontosítása, hogy a kapott távolságvértéket és kort minimális hibával lehessen meghatározni. Ezen kívül folyik még nyolc olyan nyílthalmaz vizsgálata, amelyekről szintén nagyon kevés adat áll rendelkezésre a szakirodalomban. Ezen halmazok távolságmegállapítása, illetve további „ismeretlen” nyílthalmazok hasonló vizsgálata, segíthet a Galaxis spirálszerkezetének pontosabb feltérképezésében; így pedig a hasonló szerkezetű galaxisok evolúcióját lehetne jobban megismerni. Mindezekon felül a csillagpulzációs-modellek javítása és a távolságmeghatározás pontosítása is lehetővé válhat.

| Paraméterek | NGC 189 | IC1434 |
|-------------------------------------|---|---|
| α_{2000} | 00 ^h 39 ^m 34, ^s 03 | 22 ^h 10 ^m 33, ^s 47 |
| δ_{2000} | 61°05'47,82'' | 52°49'20,96'' |
| E(B - V) [^m] | 0,6 ± 0,1 | 0,63 ± 0,02 |
| E(V - I) [^m] | 0,75 ± 0,1 | 0,79 ± 0,03 |
| m - M [^m] | 10,6 ± 0,2 | 12,3 ± 0,05 |
| Távolság [pc] | 1318 ± 130 | 2884 ± 70 |
| Látszó átmérő ['] | 7,5 ± 0,2 | 5,65 ± 0,03 |
| Valódi átmérő [pc] | 2,9 ± 0,3 | 4,74 ± 0,12 |
| ρ_v [csillag/négyzetívperc] | 2,5 ± 0,03 | 5,6 ± 0,05 |
| ρ_f [csillag/pc ²] | 17 ± 4 | 8 ± 0,5 |
| Kor [$\times 10^6$] | 400 ± 100 | 16 |

8. táblázat. A halmaz-paraméterek összefoglalása

| Változók | V | (B - V) | (V - I) | (V - R) | Periódus [nap] | Amplitudó |
|----------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|--|
| V1 | 15, ^m 37 | 0, ^m 69 | 0, ^m 39 | 0, ^m 27 | - | ~ 0, ^m 16 |
| V2 | 16, ^m 51 | 0, ^m 79 | 0, ^m 34 | 0, ^m 66 | 0,49 ± 0,02 | - |
| V3 | 16, ^m 52 | 0, ^m 97 | 0, ^m 52 | 0, ^m 33 | 0,29 ± 0,01 | ~ 0, ^m 34 és ~ 0, ^m 36 |
| V4 | 15, ^m 17 | 0, ^m 88 | 0, ^m 47 | 0, ^m 34 | 0,29 ± 0,02 | ~ 0, ^m 14 és ~ 0, ^m 1 |
| V5 | 15, ^m 05 | 1, ^m 65 | 0, ^m 66 | 0, ^m 83 | - | - |
| V6 | 14, ^m 72 | 0, ^m 67 | 0, ^m 27 | 0, ^m 22 | 0,41 ± 0,01 | ~ 0, ^m 17 és ~ 0, ^m 12 |
| V7 | 15, ^m 89 | 0, ^m 65 | 0, ^m 25 | 0, ^m 19 | 0,22 ± 0,01 vagy 0,44 ± 0,01 | ~ 0, ^m 26; ~ 0, ^m 27 és ~ 0, ^m 25 |

9. táblázat. Az IC 1434 látóirányában talált változócsillagok összefoglalása

| Változók | V | (B - V) | (V - I) | (V - R) | Periódus [nap] | Amplitudó |
|----------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|--|
| V1 | 16, ^m 4 | 0, ^m 67 | 1, ^m 06 | 0, ^m 45 | ~ 0,5 | ~ 0, ^m 6 |
| V2 | 16, ^m 82 | 1, ^m 03 | 1, ^m 56 | 0, ^m 72 | - | ~ 0, ^m 5 |
| V3 | 14, ^m 54 | 0, ^m 8 | 1, ^m 09 | 0, ^m 51 | - | ~ 0, ^m 07 |
| V4 | 15, ^m 33 | 1, ^m 05 | 1, ^m 23 | 0, ^m 54 | >0,8 | - |
| V5 | 15, ^m 28 | 1, ^m 24 | 0, ^m 77 | 1, ^m 41 | 0,32 ± 0,05 | ~ 0, ^m 1 |
| V6 | 12, ^m 59 | 0, ^m 76 | 0, ^m 43 | 0, ^m 91 | 0,31 ± 0,02 | ~ 0, ^m 07 és ~ 0, ^m 05 |

10. táblázat. Az NGC 189 látóirányában talált változócsillagok összefoglalása

| Halmaz neve | Változók | α_{2000} | δ_{2000} |
|-------------|----------|---|-----------------|
| NGC 189 | V1 | 00 ^h 38 ^m 23, ^s 01 | 60°57'13,5'' |
| | V2 | 00 ^h 38 ^m 23, ^s 85 | 61°16'44,18'' |
| | V3 | 00 ^h 38 ^m 48, ^s 94 | 61°15'55,76'' |
| | V4 | 00 ^h 39 ^m 06, ^s 08 | 61°09'10,86'' |
| | V5 | 00 ^h 40 ^m 06, ^s 01 | 61°16'38,30'' |
| | V6 | 00 ^h 40 ^m 11, ^s 37 | 61°03'48,21'' |
| IC 1434 | V1 | 22 ^h 09 ^m 48, ^s 55 | 52°38'12,18'' |
| | V2 | 22 ^h 09 ^m 51, ^s 91 | 52°50'27,04'' |
| | V3 | 22 ^h 09 ^m 59, ^s 08 | 52°49'13,6'' |
| | V4 | 22 ^h 10 ^m 34, ^s 7 | 52°38'30,31'' |
| | V5 | 22 ^h 10 ^m 35, ^s 76 | 52°59'20,47'' |
| | V6 | 22 ^h 10 ^m 42, ^s 58 | 52°45'49,99'' |
| | V7 | 22 ^h 10 ^m 46, ^s 62 | 52°43'16,39'' |

11. táblázat. A két halmaz látóirányában talált változócsillagok égi koordinátái

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Dr. Szatmári Sándor és Dr. Bor Zsolt tanszékvezető egyetemi tanároknak, hogy lehetőséget biztosítottak a kutatási munkálatokba való bekapcsolódáshoz. Köszönöm az MTA KTM CSKI-nek a lehetőséget, hogy rendelkezésemre bocsájtották a Piszkestetői Observatórium műszereit.

Rendkívül sok köszönettel tartozom Csák Balázs PhD-hallgatónak, aki rengeteg időt áldozott rám, mindig számíthattam rá és nagyon sokat segített. Mindezt hatalmas türelemmel és jóindulattal tette. Nagyon köszönöm Balog Zoltánnak akire szintén számíthattam, és sokat segített a dolgozat megírásában is. Köszönet illeti Dr. Vinkó Józsefet, aki nagyon sok hasznos észrevétellel, tanáccsal segített abban, hogy létrejöhessen ez a dolgozat. Köszönöm továbbá Dr. Szatmáry Károlynak és Dr. Kiss L. Lászlónak a változócsillag-típusok meghatározásában nyújtott segítségét. Rengeteg hálával tartozom évfolyamtársamnak és barátomnak Gáspár Andrásnak, aki nagyon sokat segített. Mindenképpen szeretném megemlíteni Székely Péter és Mészáros Szabolcs PhD-hallgatók nevét, mert bármikor számíthattam rájuk, ha elakadtam.

Feltétlenül köszönet illeti a menyasszonyomat, aki nagy türelemmel viselte el a munka miatti távolmaradásokat és a ritkább találkozásokat.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm mindenkinek, aki valamilyen módon hozzájárult jelen dolgozat létrejöttéhez.

Hivatkozások

- [1] Ahumada, J. & Lapasset, E. 1995, *Astronomy & Astrophysics*, **109**, 375-382
- [2] Alter, G. 1944, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **104**, 179-190
- [3] Bertelli, G. et al. 1994, *Astronomy & Astrophysics*, **106**, 275-302
- [4] Bessell, M. S. & Brett, J. M. 1988, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **100**, 1134-1151
- [5] Balázs, B. 1961, *Astronomische Abhandlungen der Hamburger Sternwarte*, **5**, 317-339
- [6] Becker, W. & Fenkart, R. 1971, *Astronomy & Astrophysics*, **4**, 241-252
- [7] Buil, C. 1991, *CCD Astronomy*, Willmann-Bell Inc., Virginia
- [8] Böhm-Vitense, E. 1989, *Introduction to Stellar Astrophysics (1)*, Cambridge Univ. Press, Cambridge
- [9] Cserepes, L. & Petrovay, K. 2001, *Kozmikus fizika*, egyetemi jegyzet, Budapest
- [10] Cooper, W. A. & Walker, E. N. 1994, *Csillagok távcsővégen*, Gondolat kiadó, Budapest
- [11] Gedden & Grosset 1995, *Dictionary of Astronomy*, Scotland
- [12] Gomez, M. et al. 1993, *Astronomical Journal*, **105**, 1927-1937
- [13] Henden, A. A., & Kaitchuk, R. H. 1982, *Astronomical Photometry*
- [14] Janes, K. & Adler, D. 1982, *Astrophysical Journals*, **49**, 425-432
- [15] Kimeswenger, S. & Weinberger, R. 1989, *Astronomy & Astrophysics*, **209**, 51-28
- [16] Marik, M. (szerk.) 1989, *Csillagászat*, Akadémiai kiadó, Budapest
- [17] Murdin, P. et al. 2001, *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics (2)*, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia
- [18] Popova, M. & Kraicheva, Z. 1984, *Astrofizicheskie Issledovaniya Izvestija Spetsial'noj Astrofizicheskoy Observatorii*, **18**, 64-88
- [19] Renson, P. 1988, *Astronomy & Astrophysics*, **76**, 127-135
- [20] Schlegel, D. J. et al. 1998, *Astrophysical Journal*, **500**, 525-533

A. Függelék

A.1. A JCG-szűrőrendszer

A különböző helyeken elvégzett méréseket valahogy össze kell hasonlítani egymással, hiszen így lehet csak tudományosan értékelhető munkát végezni. Ez fontos mivel a megfigyelő földrajzi helyétől, a használt detektortól, az optikai rendszertől és még sok mindentől függ az, hogy milyen fényesnek látunk egy égi objektumot. Éppen ezért bevezettek több nemzetközileg is elfogadott szűrőrendszert, amelynek segítségével már összevethetőek a különböző helyeken végzett mérések.

Az egyes szűrők feladata a beérkező fény hullámhossz-intervallumának lecsökkentése. A szűrőrendszerek három fő csoportba oszthatóak aszerint, hogy mekkora a lecsökkentett hullámhossztartomány:

- **Szélessávú** ($\Delta\lambda = 30\text{-}100\text{ nm}$)
- **Közepessávú** ($\Delta\lambda = 10\text{-}30\text{ nm}$)
- **Keskenysávú** ($\Delta\lambda < 10\text{ nm}$)

Az egyik korai, jelenleg is elterjedt standard rendszert Johnson és Kron vezette be a hatvanas évek közepén. Johnson rendszere három „áteresztési” ablakból állt: ez volt az **UBV-rendszer** (Ultraviolet, Blue, Visual). Ezt egészítette ki Kron és Cousins az **RI-rendszerrel** (Red, Infrared). Az **UBVRI-rendszer** hullámhossztartománya: 300-900 nm (3000-9000Å). A detektorok fejlődésével a rendszert tovább fejlesztették az infravörös tartomány felé. Így az eredeti rendszer kibővült a **J, K, L, M, N-szűrőkkel**. Később Glass bevezette a **H-szűrőt** is.

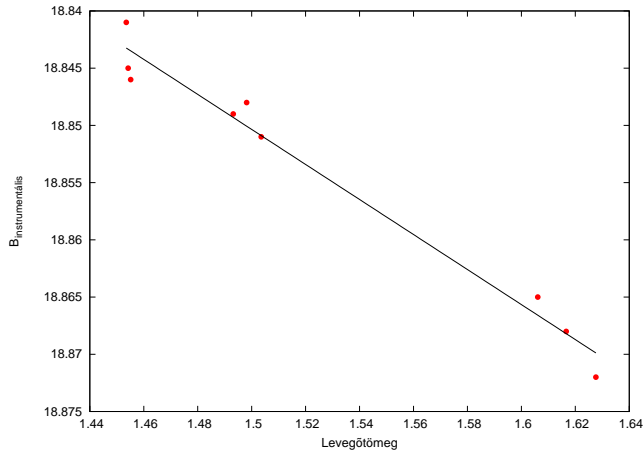
Tehát a teljes Johnson–Cousins–Glass fotometriai rendszer: U-B-V-R-I-J-H-K-L-M-N. A 12. táblázatban láthatjuk a szűrők hullámhossztartományának szélességét és a maximális áteresztési hullámhosszat.

| | U | B | V | R | I | J | H | K | L | M | N |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|
| λ_{eff} (nm) | 367 | 436 | 545 | 638 | 797 | 1220 | 1630 | 2190 | 3450 | 4750 | 10400 |
| $\Delta\lambda$ (nm) | 66 | 94 | 85 | 160 | 149 | 213 | 307 | 39 | 472 | 460 | — |

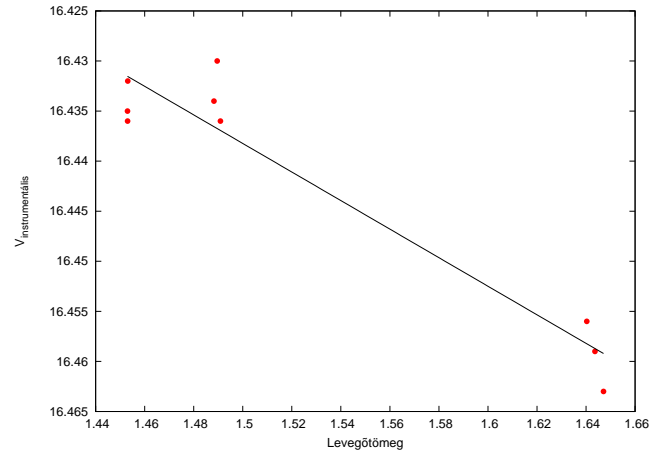
12. táblázat. A Johnson–Cousins–Glass rendszer

A szín-fényesség diagramnál gyakran használatos színindex a $(B - V)$, amely kapcsolatban áll az effektív hőmérséklettel. Ez a színindex kapcsolatban van a színexcessussal is: $E(B - V) = (B - V)_{obs} - (B - V)_0$. Az első tag jelöli a csillagközi poron keresztül megfigyelt színindexet, míg a második tag esetén nincs por. A színexcessus a csillagközi abszorpcióval is kapcsolatban van: $A_v = 3,1 \cdot E(B - V)$. Ez csak akkor érvényes, ha a csillagközi porfelhő sűrűsége közepes. Ha nő a sűrűség, akkor a szorzó előtag értéke felmehet akár 6-ig is.

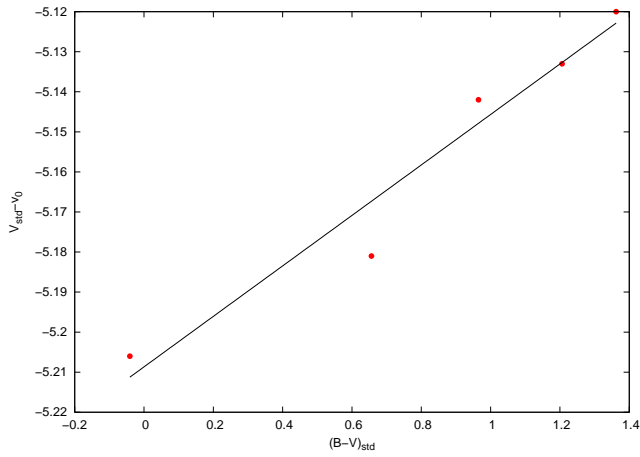
A.2. A távcsőkonstansok és extinkciós együtthatók meghatározása



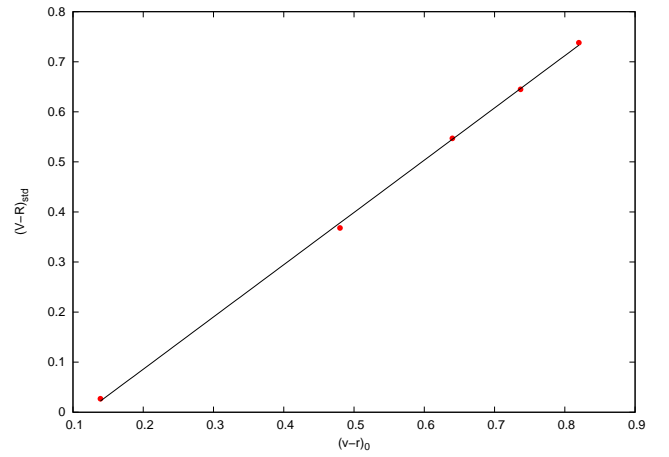
(a) A k_b meghatározása



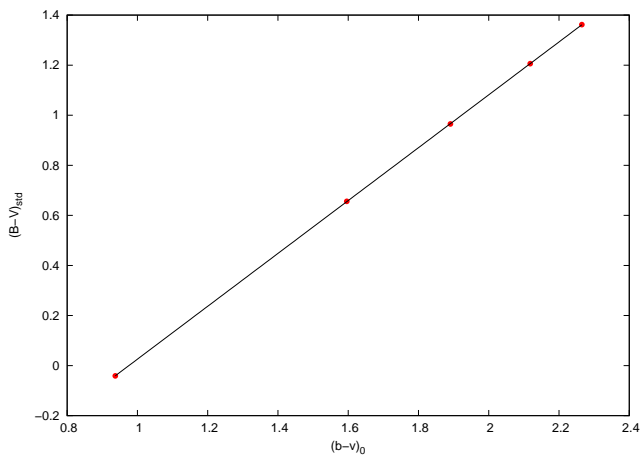
(b) A k_v meghatározása



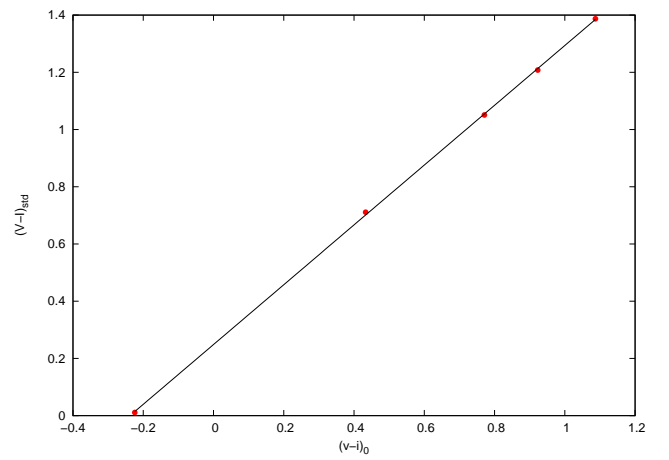
(c) Az ϵ_{vR} meghatározása



(d) A v meghatározása



(e) A μ meghatározása



(f) Az η meghatározása

41. ábra. Az egyenes-illesztések az együtthatók meghatározásához