

TARTU ÜLIKOOL  
FÜÜSIKA-KEEMIA TEADUSKOND  
TEOREETILISE FÜÜSIKA INSTITUUT

TIINA LIIMETS

PEKULIAARSE MUUTLIKU TÄHE V838 MONOCEROTIS  
JA TEMA VÕRDLUSTÄHTEDE FOTOMEETRIA

Magistritöö astrofüüsikast

Juhendajad: Ph. D. INDREK KOLKA  
M. Sc. TÕNIS EENMÄE

TARTU 2007

# Sisukord

<b>1</b>	<b>Sissejuhatus</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Vaatlused</b>	<b>5</b>
2.1	Tartu Observatoorium . . . . .	5
2.2	Lõuna-Aafrika Astronoomia Observatoorium (SAAO) . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Andmetöötlusmeetodid</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Võrdlustähed uurimisobjektina</b>	<b>10</b>
4.1	Võrdlustähtede heleduse konstantsuse kontrollimine . . . . .	10
4.1.1	Meetodi valik . . . . .	10
4.1.2	Heleduse püsimine lühikeses ja pikas ajaskaalas . . . . .	11
4.2	Võrdlustähtede standardheleduste määramine . . . . .	16
4.2.1	Võrdlustähtede standardheledused Tartu Observatooriumi vaatluste põhjal . . . . .	16
4.2.2	SAAO fotomeetrilise värvisüsteemi leidmine . . . . .	19
4.2.3	V838 Monocerotis võrdlustähtede heledused $UBVR_cI_c$ süsteemis . . . . .	22
<b>5</b>	<b>V838 Mon fotomeetria</b>	<b>27</b>
5.1	Tartu Observatooriumi vaatluste tulemused . . . . .	27
5.2	SAAO vaatluste tulemused . . . . .	32
<b>6</b>	<b>Kokkuvõte</b>	<b>35</b>
	<b>Kasutatud kirjandus</b>	<b>36</b>
	<b>Lisa 1</b>	<b>40</b>
	<b>Lisa 2</b>	<b>42</b>
	<b>Lisa 3</b>	<b>43</b>

# 1 Sissejuhatus

Täht V838 Monocerotis avastati 2002. aasta jaanuaris, kui tema heledus muutus drastiliselt (Brown et al. 2002). Optilises piirkonnas kestis heleduse purse umbes kolm kuud, omades kahte või kolme maksimumi olenevalt lainepikkusest. Jaanuaris oli lühikene eelpurse, mis tõstis tähe heledust 16. tähesuuruselt 10. tähesuuruseni. Veebruari alguses toimus pea-purse, mille tagajärjel tähe heledus kasvas veel 4.5 tähesuurst. Kuu aega hiljem toimus nõrgem kolmas purse, ning peale seda langes tähe optiline heledus jällegi 16. tähesuuruseni (30ne päevaga), kuid säilitas oma heleduse infrapunases piirkonnas. Heleduse maksimumi tipuks oli V838 Mon saavutanud ka efektiivse temperatuuri maksimumi, mis vastas A-F spektriklassile. Peale seda hakkas efektiivne temperatuur langema ja miinimumis sai V838 Mon üheks kõige külmemaks ülihiuks L-spektriklassis, mida seni vaadeldud on. Täpsemat infot V838 Mon spektraalse ja fotomeetrilise evolutsiooni kohta võib leida mitmetest allikatest, kaasa arvatud artiklid (Munari et al. 2002b; Crause et al. 2003, 2005; Kimeswenger et al. 2002; Kipper et al. 2004).

V838 Mon purske stsenaarium on siiani ebaselge. Välja on pakutud mitmesuguseid võimalusi, kuid kõigil variantidel on oma nõrgad kohad. Esialgu arvati, et tegemist oli termotuumaplahvatusena: stsenaariumiks klassikaline noova või heeliumituumasähvatus. Kahe peajada tähe ühinemise protsessi pakkusid välja (Soker & Tylenda 2003). Artiklis (Retter & Marom 2003) käsitleti hiidtähe poolt kolme planeedi neelamise võimalikkust.

V838 Mon heleduse suur kahanemine peale purset optilises piirkonnas võimaldas avastada lühematel lainepikkustel nõrga kuuma kontiinumi (Desidera & Munari 2002; Wagner & Starrfield 2002), mis hiljem klassifitseeriti pärinevaks tavaliselt B3 V tähelt (Munari et al. 2002a), viidates seega V838 Mon kaksiklusele. Uusi andmeid kaksikluse käsitlemiseks saadi 2006. aasta detsembris (Goranskij 2006; Bond 2006), kui avastati heleduse ootamatu langus sinistel lainepikkustel. Langusele oli eelnenud aeglase heleduse tõus filtrites V ja B (vastavalt 0.1 ja 0.2 tähesuurst), mis on tundlikud kajastama kuuma komponendi muutlikkust.

V838 Mon on äratanud lisaks oma salapärasele loomusele palju tähelepanu ka tänu tema ümber veebruaris 2002. aastal avastatud valguskajale (Henden et al. 2002). Täpsemat informatsiooni valguskaja kohta vaata Tiina Liimetsa bakalaureusetööst (Liimets 2005).

Toodud lühiülevaade tähest V838 Mon kui mõistatuslikust objektist osutab vajadusele fikseerida võimalikult hea ajalise lahutusega ja võimalikult suure fotomeetrilise täpsusega tema heleduse muutlikkust erinevais spektripiirkondades. Käesoleva töö eesmärgiks oli saada mainitud tingimustele vastav V838 Mon heleduste aegrida, kasutades selleks autori enda ja kolleegide vaatlusi ajavahemikus 2002-2007. Andmed on kogutud Tartu Observatooriumis ja Lõuna-Aafrika Astronoomia Observatooriumis.

Oluline osa tööst on pühendatud vaatluste täpsuse hindamisele, lähtudes V838 Mon mõõtmisteks kasutatud võrdlustähtede heleduste määramisest ja nende ajalise konstantsuse kontrollimisest.

Saadud tulemusi on võrreldud teiste autorite poolt avaldatud analoogsete vaatlusriidadega. Leitud hea kooskõla viitab meiepoolsele panusele ühise aegrea koostamiselt uuritava tähe olemuse mõistmiseks. Osa tulemustest on ette kantud V838 Mon pühendatud konverentsil 2006. a. mais La Palmal ja avaldatud ka vastavas konverentsikogumikus (Liimets et al. 2007).

Töö esimeses osas on kirjeldatud kahes observatooriumis tehtud vaatlusi. Seejärel antakse ülevaade kasutatud andmetöötlusmeetodist. Peatükk 4 on pühendatud võrdlustähtede heleduste käitumise analüüsile. Viimases osas on esitatud põhieesmärgiks olnud V838 Mon heleduste aegrida neljas spektripiirkonnas ( $UBVR_cI_c$ -fotomeetrilises süsteemis). Töö kokkuvõttes on osutatud ka võimalikele järgnevatele sammudele V838 Mon olemuse analüüsimisel.

## 2 Vaatlused

### 2.1 Tartu Observatoorium

Tartu Observatooriumis on tehtud V838 Mon fotomeetrilisi vaatlusi alates 2002. aasta märtsist kuni käesoleva hetkeni. Vaatluste teostamiseks on kasutatud 60-sentimeetrise peapeegli teleskoopi ZEISS 600. Kasutusel on Johnson-Cousins'i fotomeetriline filtrite süsteem  $UBVR_cI_c$ . Vastuvõtjaks on 1024x1024 piksliga CCD-kaamera HPC-1, mis on termoelektriliselt jahutatav. Võimalik vaateväli on kaamera mõõtmest tingitult 11 kaareminutit. Täpsemat infot kasutusel oleva instrumendi kohta vaata Taavi Tuvikese bakalaureusetööst (Tuvikene 2001).

Tabelis 12 (vaata lisa 1) on toodud Tartu Observatooriumis tehtud vaatlused. Nimetatud tabelis on kirjas kaadrid, millel on olnud võimalik teha tähe V838 Mon fotomeetrilisi mõõtmisi. Tüüpilised säriajad B-filtris on 60...300 sekundit. Säriajad V-filtris 2002. aastal on 5...40 sekundit ja hiliematel epohhidel 90...600 sekundit, R-filtris vastavalt 0.5...10 ja 60...180 sekundit, I-filtris 0.3...6 ja 30...120 sekundit. Pikemad säriajad on tingitud uuritava objekti heleduse olulisest kahanemisest.

Käsitledes töö järgnevates osades V838 Mon ümbritsevate väljatähtede sobivust võrdlustähtedena, oleme analüüsiks valinud teatud alamhulga tabelis 12 kirjeldatud vaatlustest. Põhjuseks see, et andmete interpreteerimisel oleme arvesse võtnud vaid nii-öelda head vaatlused vähendamaks juhuslike vigu. Konkreetne vaatlusöö või vaatluskaader võib olla ebasobiv alljärgnevatel põhjustel:

- Atmosfääri läbipaistvus on oluliselt väiksem kui normaalsel keskmisel ööl
- Atmosfääri turbulentsist tingitud tähekujutis on märkimisväärselt halvem kui antud instrumendile omane
- Instrumentaalne ebatäpsus võib olla tekkinud filtrite juhuslikust ebatäpsest paigutusest vaateväljas nende vahetamismehhanismi vea tõttu,

millega kaasneb tasaväljakaadri moonutus (vaata peatükki 3)

- Vaatlusöö kiirest temperatuurimuutusest tingitud fokusseerimisvead
- Andmekaadrite töötlustest tulenevad vead:
  - tasaväljakaadrid ei ole tehtud samal vaatlusööl, mistõttu optilistel pindadel asuvate tolmuterade moonutused ei ole korralikult välja taandatud
  - nullnivoo- või pimekaadrid ei ole samast vaatlusööst, mis võib põhjustada nende süstemaatilist nihet vaatluskaadri suhtes
- Vaatlemise ajal oli objekt liiga horisondi lähedal, mis paratamatult suurendab atmosfääri läbipaistvusest põhjustatud juhuslikke vigu
- Juhuslikud suured varieerumised instrumentaalsetes heledustes (näiteks kosmiliste kiirte jälgede mõjul)

## 2.2 Lõuna-Aafrika Astronoomia Observatoorium (SAAO)

Tabelis 13 (vaata lisa 2) on esitatud Taavi Tuvikese vaatlused, mis on tehtud Lõuna-Aafrika Astronoomia Observatooriumis (edaspidi SAAO, ingl. k. *South African Astronomical Observatory*) 31. jaanuar kuni 13. märts 2007. Kasutusel oli 1.0-meetrine teleskoop koos CCD-kaameraga STE4 (1024x1024 pikslit) vaateväljaga 5.3x5.3 kaareminutit. Filtrite süstemiks oli Johnson-Cousins'i  $UBVR_cI_c$ .

### 3 Andmetöötlusmeetodid

Andmete töötamiseks on kasutatud programmpaketti *photometry*, mille on koostanud Taavi Tuvikene oma magistriväitekirjana (Tuvikene 2003). Nimeetatud programm töötab andmetöötluse ja programmeerimise keskkonnas IDL (*Interactive Data language*).

Kasutatud meetodi esimeseks sammuks on nii-nimetatud eeltöötlus, mille käigus lahutatakse kõigist vaadeldud taevakaadritest nullnivoo tase (signaalivaba kaader) ja valitud säriaajale ning töötemperatuurile vastav kiirusvastuvõtja omamüra kaader (pimekaader, pimevool). Järgneb tasaväljakujutisega läbijagamine, mis tagab kõigi mõõdetavate pildielementide samaväärsuse valgusvoo registreerimisel. Selle tehte üks eesmärk on valgusfiltritest tingitud võimaliku optilise vinjeteerimise arvestamine. Et seda korrektselt teha, peab filtri asend kiirtekimbus olema alati sama. Kahjuks on meie kasutatud Tartu Observatooriumi fotomeetris filtrite mehhaaniline positsioneerimine aeg-ajalt ebatäpne, mis tähendab paremal juhul kiirgustajuri vinjeteeritud osade mittekasutamist, halvemal juhul terve vaatluskaadri kõlbmatuks tunnistamist (sellele on viidatud punktis 2.1).

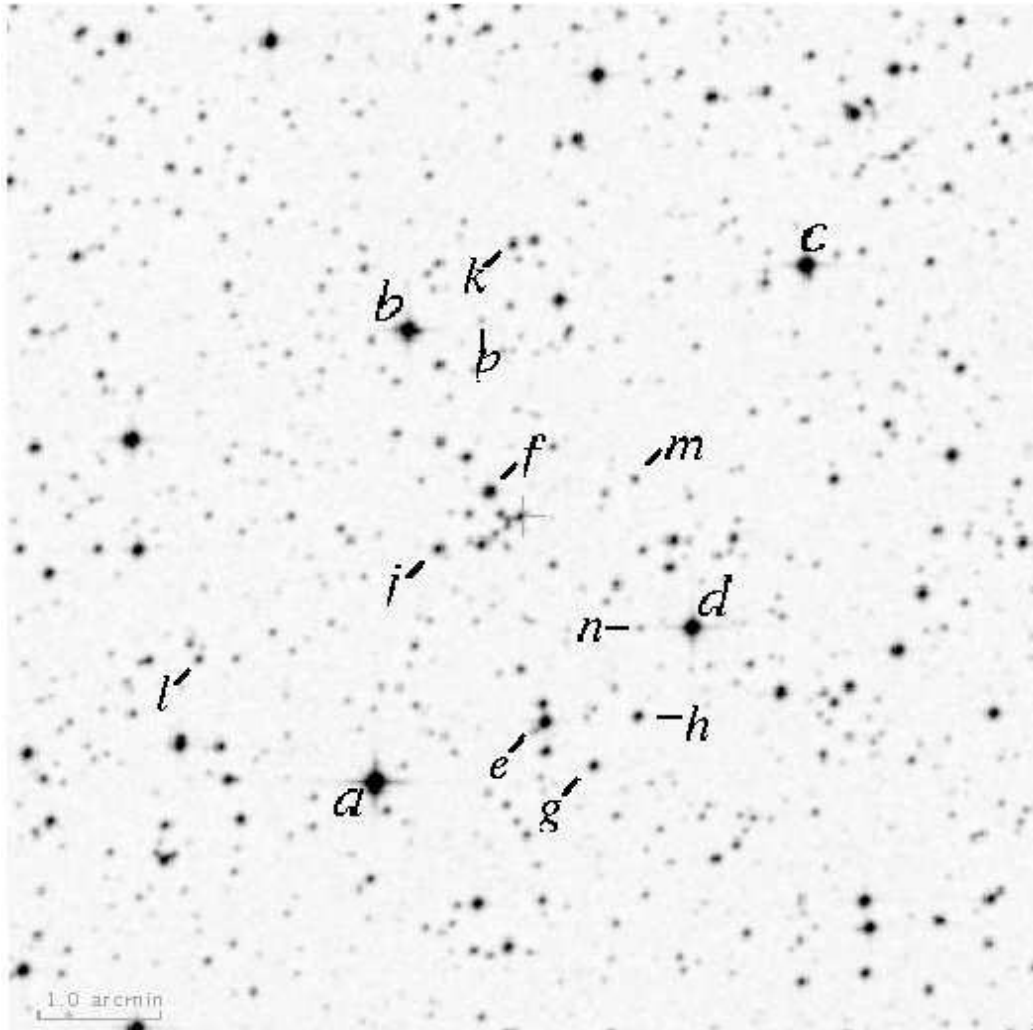
Kolmanda sammuna toimub kirjeldatud viisil modifitseeritud taevakaadritel tähtede heleduste mõõtmine apertuurfotomeetria protseduuri abil. Saadakse nii-nimetatud instrumentaalsed heledused, mis vastavad konkreetsele teleskoobile ja fotomeetrile. Järgmine etapp on leitud heleduste teisendamine kalibreeritud standardsesse süsteemi, milleks kasutatakse standardtähtede abil määratud üleminekuvõrrandeid. Viimased on ajas suhteliselt konstantsed, muutuvad vaid optilise süsteemi elementide varieerimise korral. Tõravarere vaatlustele sobivad üleminekuvõrrandid on sisestatud paketti *photometry*, SAAO-s kasutatud süsteemi võrrandid (nii-nimetatud värviülekanne) on leitud käesolevas töös tehtud mõõtmistega samaaegselt.

Osutatud sammudega mõõdetud heledused sisaldavad konkreetsetest vaatlustingimustest (atmosfääri läbipaistvus, vaatlusmoment, registreeritud signaali numbriliseks teisendamise skaala) sõltuvat parandliiget (instrumentaalne null-punkt), mille määramiseks kasutatakse kalibreeritud heledusega stan-

dardtähti. Eelistatult peaksid need tähed asuma samas kaadris uuritava objektiga. Reeglina ei leidu varem kalibreeritud tähti uue avastatud muutliku tähe läheduses. Sel juhul on eraldi ülesandeks lähitähedest sekundaarstandardite moodustamine. Meie oleme saanud kasutada Munari ja teiste poolt (Munari et al. 2002b) kalibreeritud V838 Mon ümbritsevaid objekte (vaata joonis 1 ja lisa 3, tabelid 14 ning 15). Enamasti on võrdlustäheks olnud täht „b“ (vaata joonis 1), mis on piisavalt hele tagamaks head signaal/müra suhet, ent ta ei põhjusta valitud säriaegade piires veel detektori ületäitumist (ebalinearsust). Kui viimane siiski aset leidis, kasutasime null-punkti fikseerimiseks tähti „c“ või „d“.

Lõpuks märgime, et vaatlusrea täielikkuse huvides esitatavad 2002.a. tulemused põhinevad Taavi Tuvikese andmetöötlusel, kõik järgnevad on aga käesoleva töö autori mõõtmised.





Joonis 1: V838 Monocerotis identifitseerimiskaart artiklist (Munari et al. 2002b). Pildi keskel on ristiga märgitud V838 Mon, tähtedega tähistatud tähed on võimalikud võrdlustähed.

## 4 Võrdlustähed uurimisobjektina

Eespool osutasime fotomeetriliste aegridade tähtsusele pekuliaarse muutliku tähe V838 Mon olemuse mõistmiseks. Seejuures on oluline, kui täpselt on need aegread teada standardses  $UBVR_cI_c$  süsteemis. Siin on määravaks valitud võrdlustähtede sobivus täita oma rolli kalibraatorina. Sobivusel on kaks aspekti - heleduse ajaline konstantsus ja heleduse määratud väärtuse vastavus tegelikule standardsele heledusele (mõõtmisvea suurus).

Märgime, et Munari jt. poolt (Munari et al. 2002b) soovitatud tähtede (vaata joonis 1) muutlikkust pole keegi teadaolevalt kontrollinud. Samas on artiklis (Afşar & Bond 2007) osutatud võimalikele vigadele nende tähtede mõõdetud heledustes.

Seega on oluline uurida neid kahte võrdlustähti puudutavat küsimust, enne kui käesoleva töö lõpuosas esitame V838 Mon heledusmuutlikkuse vaatluste tulemused.

### 4.1 Võrdlustähtede heleduse konstantsuse kontrollimine

#### 4.1.1 Meetodi valik

Võrdlustähtede heleduse konstantsust saab uurida instrumentaalsete heleduste põhjal, tegemata üleminekut standardsesse süsteemi. Vaatluse alla võetakse tähepaaride heleduste vahed. Täht, mille suhtes diferentsiaalseid heledusi leitakse, võib olla põhimõtteliselt ükskõik milline täht joonisel 1 tähistatute hulgast. Kui valitud täht ise oleks muutlik, siis oleks kõigi uuritavate diferentsiaalsete heleduste kõverates näha ühesugust muutlikkust, vastasel juhul võib vaatlusvigadest suuremaid kõrvalekaldeid keskmisest heledusdiferentsist avastada mõnel üksikul kõveral või üldse mitte.

Seega, selekteerimaks, millised võrdlustähed võivad olla muutlikud, tuleb arvutada, kui palju konkreetse vaatlusmomendi diferentsiaalne heledus hälbib keskmisest diferentsiaalsest heledusest.

Uuritavad objektid võivad olla muutlikud nii lühemas kui pikemas ajaskaalas. Meie vaatlused võimaldavad võrdlustähtede käitumist kontrollida ühe vaatlusöö jooksul mõneminutilise sammuga ja kogu vaatlusperioodil juhuslikel momentidel leitud heleduste abil päevadest kuni mitme aastani ulatuvas skaalas.

Suvalise vaatlusmomendi heleduste vahe on määratud juhusliku veaga, mis on mõlema tähe apertuurfotomeetria vigade summa. Siin käsitlevatele Tartu Observatooriumi vaatlustele on tüüpiline apertuurfotomeetria viga mõni tuhandik tähesuurust heledamate võrdlustähtede korral, mis suureneb mõneks sajandikuks nõrgemate puhul.

Meie hindame, et muutlikkust võib kahtlustada juhtumil, kus käsitletava perioodi (ühe öö, mitme aasta) vaatlustulemuste ruutkeskmine hälve selle perioodi keskmise suhtes on suurem kui kolmekordne ühe vaatluse juhuslik viga. Pikemas skaalas loeme üheks vaatluseks ühe öö keskmise väärtuse ja vastavaks juhuslikuks veaks selle öö ruutkeskmise hälve.

#### **4.1.2 Heleduse püsimine lühikeses ja pikas ajaskaalas**

Meie uurisime tähtede „b“ kuni „j“ diferentsiaalseid heledusi tähe „a“ (vaata joonis 1) suhtes. Valisime analüüsiks I-filtris tehtud mõõtmised tänu tähtede suhteliselt suuremale heledusele selles värvis. Arvesse on võetud ainult head ööd (vaata punkt 2) ja sellised vaatlusööd, kus on tehtud vähemalt 3 mõõtmist.

Me ei tuvastanud erinevate heleduskõverate sarnast kuju, seega pole alust pidada tähte „a“ muutlikuks. Samuti ei leidnud me silmanähtavaid trende või korrapäraseid heleduskõveraid, mis viitaksid mõne tähe ilmsele muutlikkusele ühe öö või mitme aasta jooksul. Seega tuleb analüüsida visuaalsele hinnangule varjatuks jääva muutlikkuse võimalust. Selleks esitame joonisel 2 ülalviidatud ruutkeskmise hälve sõltuvana tähepaari diferentsiaalsest heledusest I-filtris. Ühe öö vaatlusi esindab nende hälvete keskmine, tervet vaatlusperioodi (2002-2007) esindab hälve koguperioodi keskmise diferentsiaalse heleduse suhtes. Joonisel 2 on kaks iseloomulikku tunnust - ruutkeskmise hälve

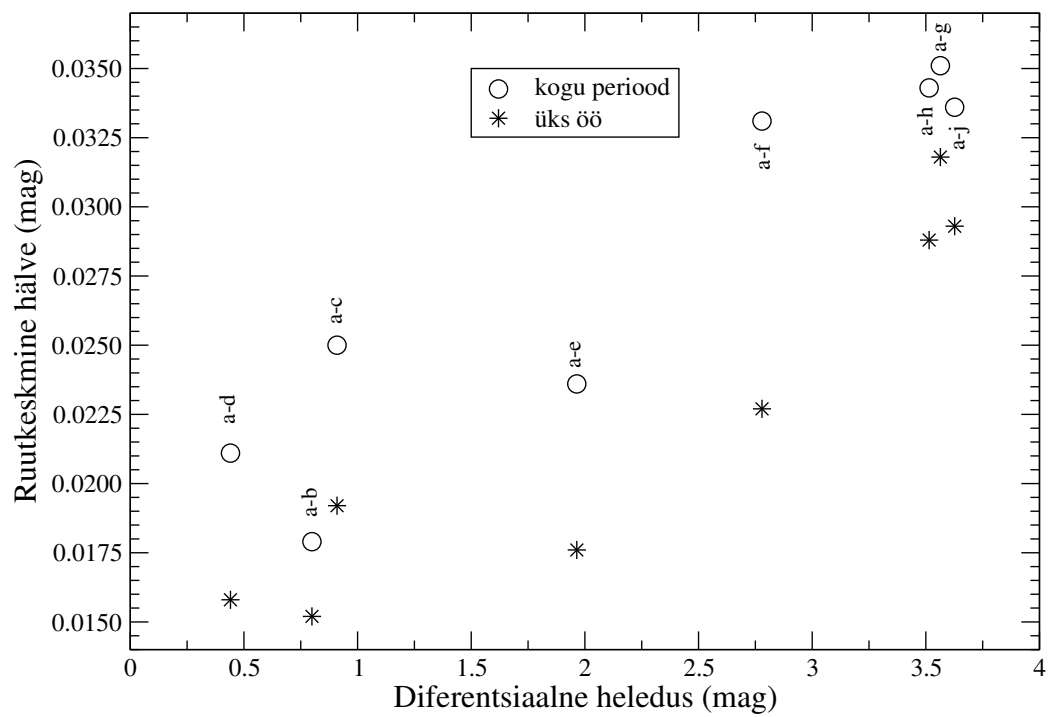
suureneb heleduste vahe kasvades ja pika aegrea hajumine keskmise ümber on süstemaatiliselt suurem kui sama hajumine ühe öö jooksul. Esimene tunnus on loomulik suvalise tähekogumi korral, sest tähe heleduse kahanedes suureneb mõõtmiste juhuslik viga. Tähekogumi muutlikud liikmed peaksid eristuma märgatava väljanihkega üldisest hälbe kasvu suunast. Teine iseärasus osutab sellele, et üksikuid vaatlusööid esindavad keskmised diferentsiaalsed heledused sisaldavad ilmselt teatavat müra (mõõtmisvea) süstemaatilist komponenti, mis ühe öö jooksul ei muutu, küll aga ööst öösse. See võib olla põhjustatud ebatäpsustest kaadrite eeltöötluse käigus, mis üksiku kaadri juhuslikus veas ei ilmne.

Arvestades öeldut, valime joonise 2 põhjal muutlikkuse lähemaks uurimiseks tähed „c“ ja „f“, sest nende ruutkeskmise hälve väljub kõige rohkem eksponentsiaalsele tõusule sarnanevast trendist. Uurime ka tähe „b“ muutlikkust, sest selle oleme valinud standardheleduste leidmisel võrdlustäheks.

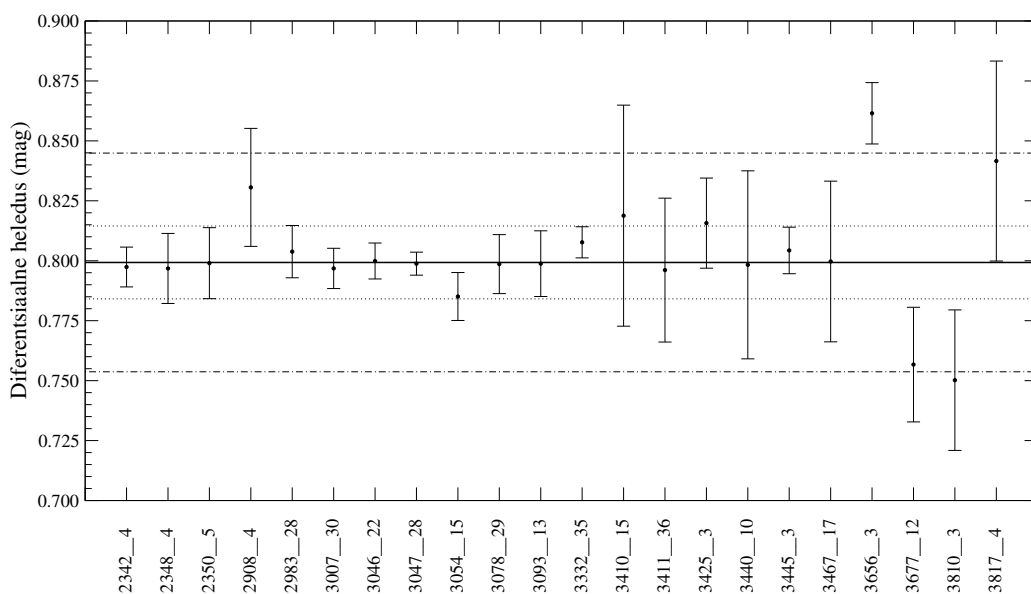
Joonistel 3, 4, 5 ja 6 on toodud muutlikkuse näited pikemas ajaskaalas ning ühe öö jooksul. Pikema ajaskaala puhul on nimetatud joonistel x-teljel Juliuse päev, koos kogu perioodi jooksul arvesse võetud kaadrite arvuga. Tuleb panna tähele, et mõõtkava pika perioodi x-teljel ei ole lineaarne, sest otsime muutlikkuse võimalikkust, mitte konkreetset muutlikkust iseloomustavaid karakteristikuid. Lühema-aja muutlikkuse korra (joonis 6) on x-teljel Juliuse päev, mis antud konkreetse vaatlusöö (11.21.04) 36. kaadri puhul annab ligikaudu kahe tunnise aegrea. Y-teljel on diferentsiaalne heledus, koos vastava vaatlusöö või vastava üksikkaadri sigma. Pidev joon näitab kõigi ööde keskmist (või ühe öö keskmist joonisel 6) heleduste vahet. Punktiirjoon on ühe ruutkeskmise hälbe joon. Kriipspunktjoon näitab kolme ruutkeskmise hälbe piiri.

Joonistelt on näha, et mitte ühegi tähepaari diferentsiaalne heledus ei ületa süstemaatiliselt kolme hälbe joont. Hilisematel epohhidel on küll hälbed keskmisest suuremad, kui varasematel epohhidel, kuid vaatlusvigu arvestades ei saa muutlikkust nimetatud tähepaaride hulgas täheldada.

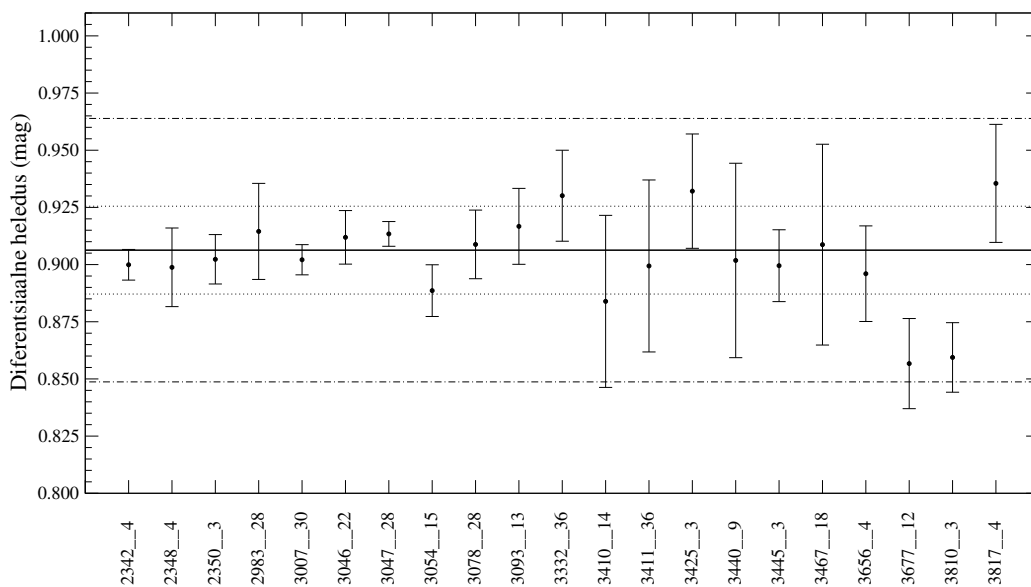
Seega oleme kinnitanud tähtede „a“ kuni „j“ heleduste püsivust meie vaat-



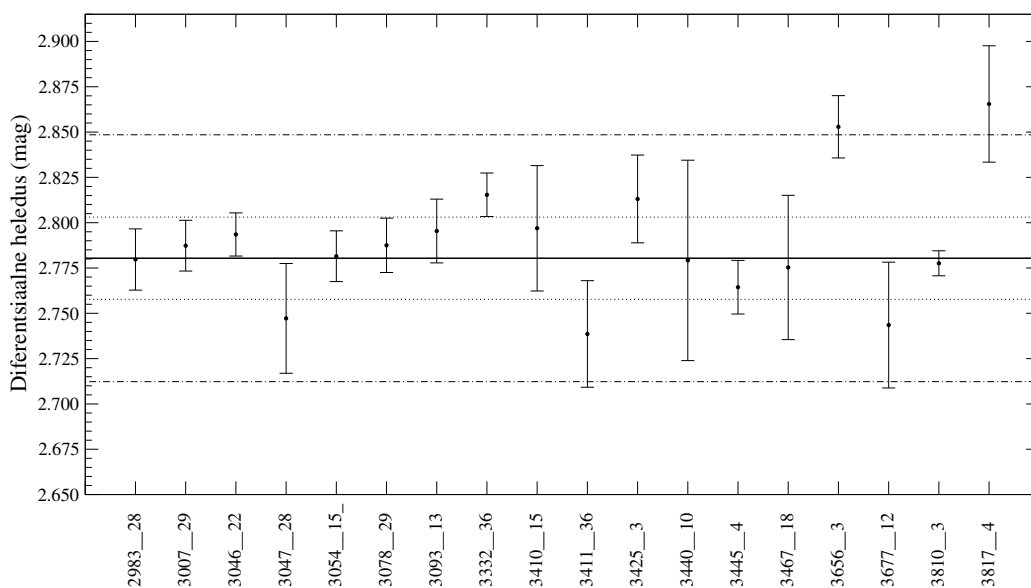
Joonis 2: Diferentsiaalsete heleduste hajumine keskmise suhtes ühe öö ja pikema perioodi jooksul sõltuvana heleduste vahest.



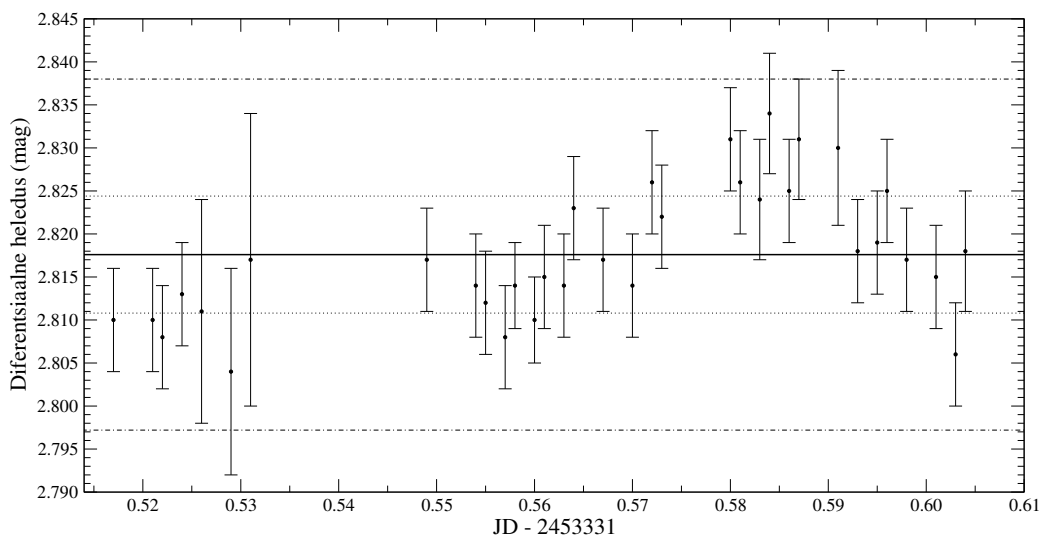
Joonis 3: Muutlikkus pikemas ajaskaalas: tähtede „b“ ja „a“ vahe (vaata joonis 1). X-teljel on ajahetked kujul JD - 2450000. Täpsemat seletust joonisel olevale vaata tekstist.



Joonis 4: Muutlikkus pikemas ajaskaalas: tähtede „c“ ja „a“ vahe. X-teljel on JD - 2450000. Täpsemat seletust joonisel olevale vaata tekstist.



Joonis 5: Muutlikkus pikemas ajaskaalas: tähtede „f“ ja „a“ vahe. X-teljel on JD - 2450000. Täpsemat seletust joonisel olevale vaata tekstist.



Joonis 6: Muutlikkus lühemas ajaskaalas: tähtede „f“ ja „a“ vahe. Täpsemat seletust joonisel olevale vaata tekstist.

lusvigade piires.

## 4.2 Võrdlustähtede standardheleduste määramine

Teiseks võrdlustähtede kvaliteeti puudutavaks küsimuseks on nende standardsete heleduste määramise viga. Munari ja teised (Munari et al. 2002b) ning Goranskij ja teised (Goranskij et al. 2004) toovad oma tabelites (vaata lisa 3) vastavad heledused ilma veahinnanguta. Tartu Observatooriumis pole olnud plaanis võrdlustähtede standardheledusi määrata, sest selleks soodsaid atmosfääri stabiilse läbipaistvusega öid on väga harva. Kaudselt on võimalik ka Tartu Observatooriumi vaatlusseeria põhjal standardheledusi hinnata, kui eeldada põhiliseks võrdlustäheks valitud „b“ heleduste vastavust Munari jt. tabelis esitatule (tabel 14 lisa 3). Niisugune hinnang sisaldub punktis 4.2.1.

Taavi Tuvikese poolt SAAO-s tehtud vaatlused aga võimaldasid meil teha sõltumatu standardheleduste määramise. Sealse instrumentaalse süsteemi kalibreerimise resultaadid ja seejärel leitud Munari jt. tabeli mõnede tähtede standardheledused koos võrdlusega varasemate tulemuste suhtes on esitatud punktides 4.2.2 ja 4.2.3.

### 4.2.1 Võrdlustähtede standardheledused Tartu Observatooriumi vaatluste põhjal

Tartu Observatooriumi vaatluste analüüsimisel oleme võtnud aluseks artiklis (Munari et al. 2002b) toodud standardtähtede fotomeetria. Nagu eespool viidatud, on võimalik kontrollida, kas Tartu Observatooriumis saadud heledused erinevad artiklis esitatutest. On võimalik hinnata erinevuste suurust. Selleks analüüsisime vaatlusi, kus võrdlustäheks on valitud täht „b“ (vaata joonis 1). Tabelites 1, 2, 3 ja 4 on esitatud tulemused vastavalt filtrites B, V, R ja I. Nimetatud tabelites on esimeses veerus tähe tähis, teises veerus Tartu Observatooriumis saadud vastava filtri heledus koos ruutkeskmise hälbega tähesuurustes. Kolmandas veerus on Munari antud standardheledus vastavas filtris. Neljandas veerus on Tartu Observatooriumis ja Munari poolt saadud heleduste erinevus tähesuurustes.



Tabel 1:  $B$ -heleduste võrdlus. Esimeses veerus on tähe tähis, teises veerus on Tartu Observatooriumis (TO) saadud heledus koos sigma, kolmandas veerus on Munari heledus ja neljandas veerus on TO ning Munari heleduste vahe. Teine, kolmas ja neljas veerg on tähesuurustes.

Täht	TO $B$ -heledus $\pm \sigma$	Munari $B$ -heledus	TO-Munari
a	10.759 $\pm$ 0.034	10.744	0.015
c	12.670 $\pm$ 0.027	12.717	-0.047
d	13.423 $\pm$ 0.015	13.450	-0.027
e	14.024 $\pm$ 0.057	14.012	0.012
f	14.691 $\pm$ 0.027	14.671	0.020
g	15.023 $\pm$ 0.029	14.984	0.039
h	15.441 $\pm$ 0.034	15.410	0.031
j	15.702 $\pm$ 0.018	15.637	0.065

Nimetatud tabelitest selgub, et enamasti on ruutkeskmise hälve suurem või samas suurusjärgus kui keskmised vahed Tartu Observatooriumi ja Munari heleduste vahel. Selle tõttu võime väita, et Tartu Observatooriumi mõõtmisvigade piires on võrdlustähe „b“ suhtes leitud standardheledused samad kui Munari antud heledused. Nendel juhtudel, kui ruutkeskmise hälve on oluliselt väiksem kui TO-Munari heleduste vahe, võib kahtlustada, et selle tähe heledus tõepoolest on Munaril saadud heledusest erinev. Näiteks, tähe „f“ puhul on olulised erinevused filtrites R ja I. Tähe „j“ TO standardheledus erineb Munari omast filtris I. B-filtris on heleduste vahedel suuremad erinevused. Need erinevused vajavad põhjalikumat uurimist. Põhjuseks võib olla tähtede muutlikkus, aga ka süstemaatiline viga konkreetse tähe heleduse määramisel konkreetses filtri piirkonnas. Osaliselt selgitab olukorda kahes järgmises alapunktis kirjeldatav võrdlustähtede heleduste sõltumatu määrang.

Tabel 2:  $V$ -heleduste võrdlus. Veergude tähendust vaata tabeli 1 pealkirjast või käesoleva punkti tekstist.

Täht	TO $V$ -heledus $\pm \sigma$	Munari $V$ -heledus	TO-Munari
a	$10.723 \pm 0.024$	10.707	0.016
c	$12.166 \pm 0.026$	12.180	-0.014
d	$12.324 \pm 0.015$	12.304	0.020
e	$13.350 \pm 0.023$	13.330	0.020
f	$14.149 \pm 0.021$	14.119	0.030
g	$14.671 \pm 0.019$	14.645	0.026
h	$14.852 \pm 0.018$	14.833	0.019
j	$15.087 \pm 0.030$	15.096	-0.009

Tabel 3:  $R$ -heleduste võrdlus. Veergude tähendust vaata tabeli 1 pealkirjast või käesoleva punkti tekstist.

Täht	TO $R$ -heledus $\pm \sigma$	Munari $R$ -heledus	TO-Munari
a	$10.677 \pm 0.032$	10.676	0.001
c	$11.857 \pm 0.035$	11.862	-0.005
d	$11.695 \pm 0.022$	11.688	0.007
e	$12.964 \pm 0.023$	12.951	0.013
f	$13.806 \pm 0.016$	13.751	0.055
g	$14.463 \pm 0.024$	14.448	0.015
h	$14.499 \pm 0.025$	14.482	0.017
j	$14.702 \pm 0.026$	14.723	-0.021

Tabel 4:  $I$ -heleduste võrdlus. Veergude tähendust vaata tabeli 1 pealkirjast või käesoleva punkti tekstist.

Täht	TO $I$ -heledus $\pm \sigma$	Munari $I$ -heledus	TO-Munari
a	$10.638 \pm 0.018$	10.612	0.026
c	$11.551 \pm 0.026$	11.574	-0.023
d	$11.102 \pm 0.021$	11.085	0.017
e	$12.614 \pm 0.019$	12.583	0.031
f	$13.444 \pm 0.026$	13.338	0.106
g	$14.203 \pm 0.021$	14.169	0.034
h	$14.163 \pm 0.025$	14.119	0.044
j	$14.286 \pm 0.020$	14.190	0.096

#### 4.2.2 SAAO fotomeetrilise värvisüsteemi leidmine

Selleks, et täita valitud põhiülesannet - V838 Mon võrdlustähtede standardheleduste leidmine - tuli esmalt määrata SAAO vaatlustel kasutatud fotomeetri värvisüsteem. Kasutasime V838 Mon vaatlustega paralleelselt tehtud nii-nimetatud Landolti' standardala SA 98 (otsetõus  $06^{\text{h}}52^{\text{m}}04^{\text{s}}$ , kääne  $-00^{\circ}23'58''$ ) kaadreid, kus mõõdeti paarikümne erinevat värvi tähe heledusi (vaat joonis 7 ringiga märgitud tähed). Viimaseid kasutades leiti tolele ööle vastav atmosfääri läbipaistvuse koefitsient kõigis filtriläbilaskeribades, seejärel aga valitud tähtede nii-nimetatud atmosfäärivälised heledused. Võrreldes nende tähtede kalibreeritud standardseid heledusi meie leitud, atmosfäärivälise heledustega, on võimalik määrata seosed üleminekuks instrumentaalsest värvisüsteemist standardsesse. Esitame siin need võrrandid:

$$v_0 - V = -18.147 - 0.01(B - V) \quad (1)$$

$$b_0 - B = -17.793 + 0.066(B - V) \quad (2)$$

$$r_0 - R = -17.848 - 0.01(V - R) \quad (3)$$

$$i_0 - I = -17.133 - 0.051(V - I) \quad (4)$$

$$u_0 - U = -17.981 + 0.01(B - V) - 0.104(B - V)^2 \quad (5)$$

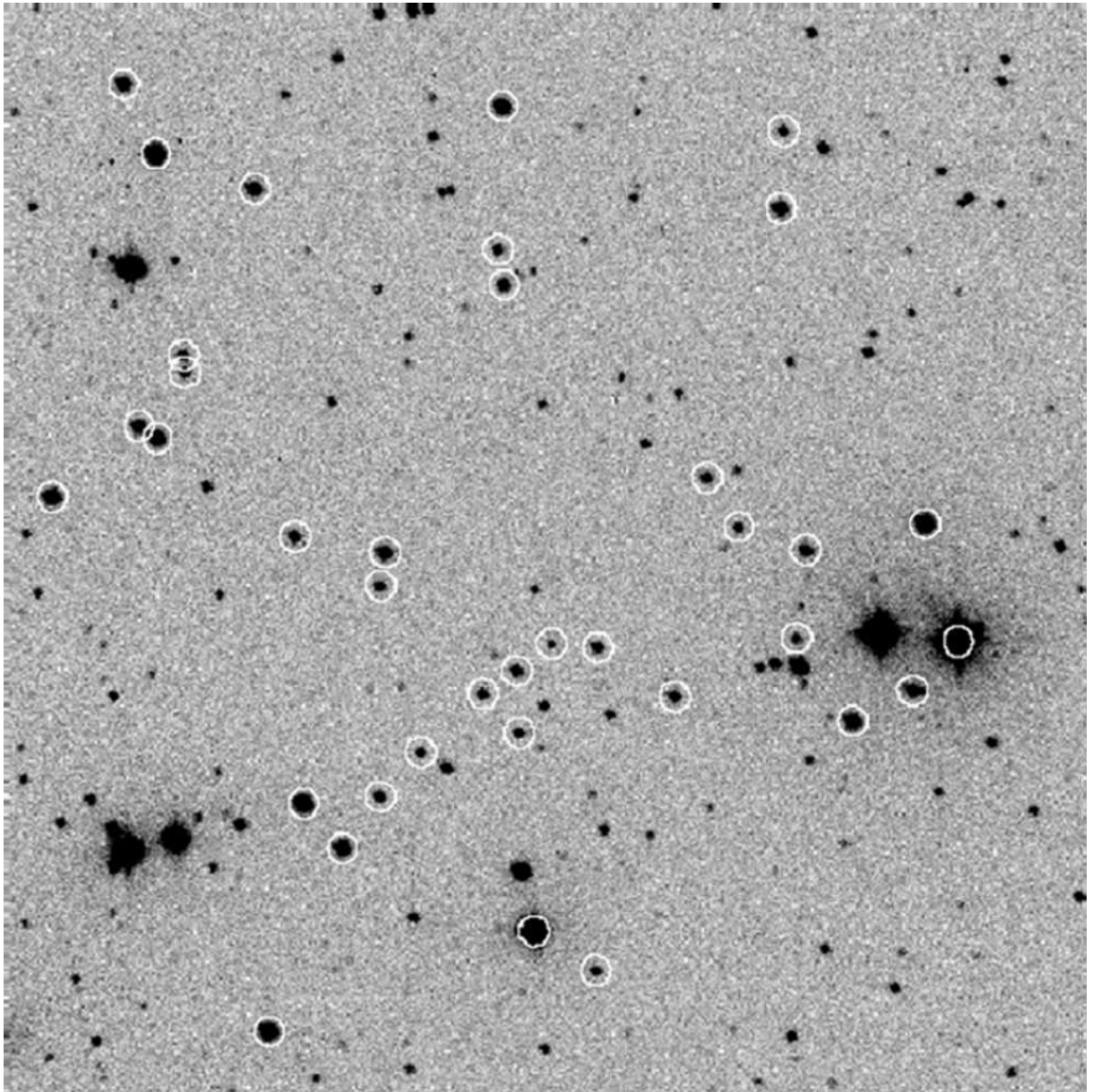
$$b_0 - v_0 = 0.354 + 1.076(B - V) \quad (6)$$

$$v_0 - r_0 = -0.295 + 0.995(V - R) \quad (7)$$

$$v_0 - i_0 = -1.008 + 1.041(V - I) \quad (8)$$

Neis seostes suurused indeksiga 0 tähistavad vaatlustest leitud atmosfääriväliseid heledusi ja vastavad suurtähed standardseid heledusi. Kõigi seoste vabaliikmete väärtus sõltub kaadris registreeritud signaali numbriliseks teisendamiseks ning need määratakse iga vaatluse korral fikseeritud võrdlustähtede abil.

Rõhutame, et võrrandite leidmisel oli oluline töö juhendajate panus ja seetõttu ei käistle seda siinkohal detailsemalt.



Joonis 7: SA 98 (Galadí-Enríquez et al. 2000) standardtähtede ala V filtris.  
Ringiga on SAAO fotomeetrilise süsteemi määramisel kasutatud tähed.

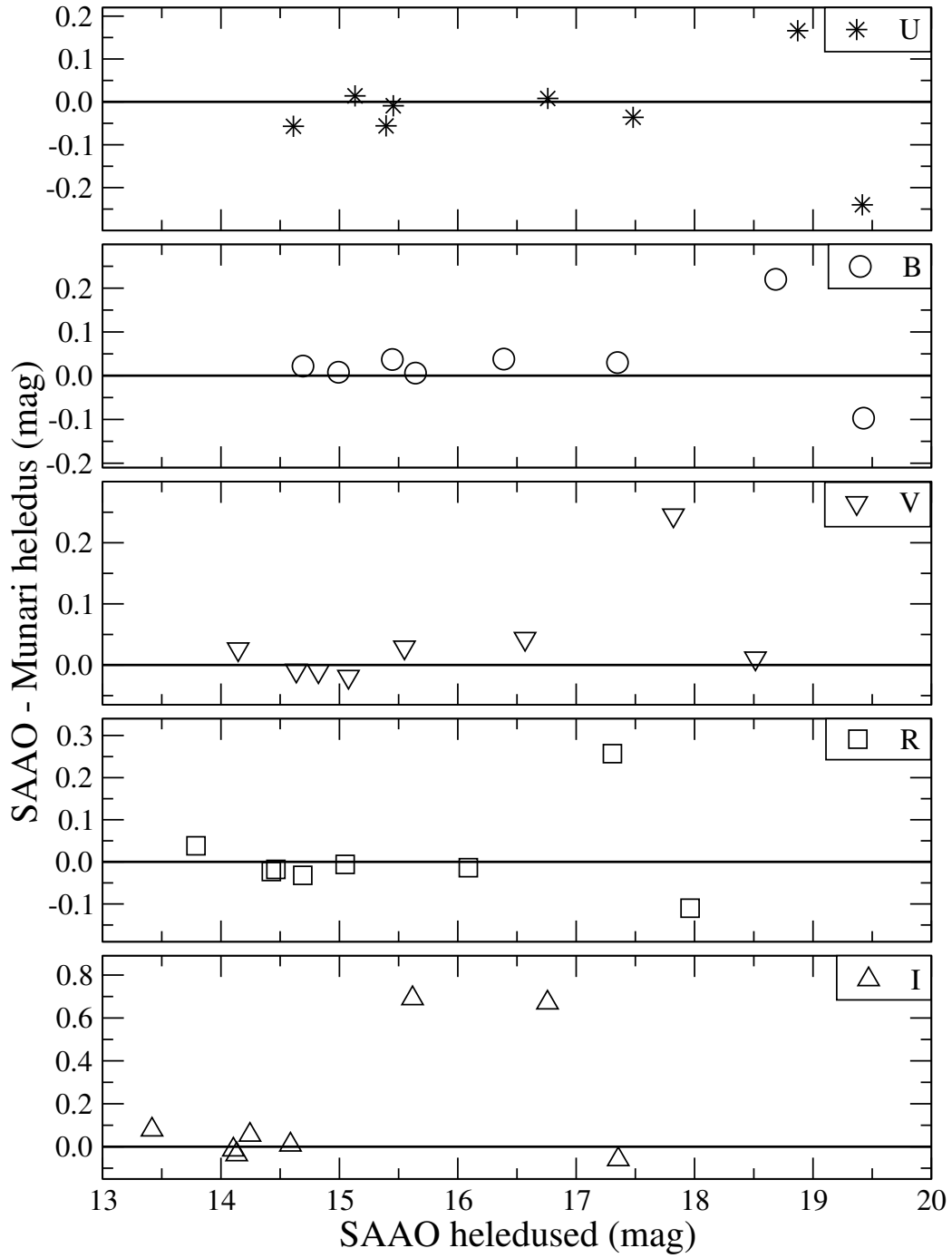
### 4.2.3 V838 Monocerotis võrdlustähtede heledused $UBVR_cI_c$ süsteemis

Käesolevas punktis on esitatud V838 Mon võrdlustähtede standardheledused leituna eelmises punktis toodud värviülekanne valemite abil. Saadud tulemusi on võrreldud artiklites (Munari et al. 2002b) ja (Goranskij et al. 2004) avaldatud standardsete heledustega (vaata lisa 3). Oleme leidnud heledusi alates tähest „f“ ja nõrgematele, sest SAAO vaatlused olid tehtud eesmärgiga mõõta V838 Mon fotomeetrilist käitumist, mille tõttu heledamate väljatähtede kujudised kaadritel on ületäitunud.

Tabelis 5, 6, 7, 8 ja 9 on toodud vastavalt  $U$ ,  $B$ ,  $V$ ,  $R$  ja  $I$  heleduste võrdlus. Nimetatud tabelites on esimeses veerus tähe tähis (vaata joonist 1). Teises veerus on meie saadud standardheledus koos veaga. Antud ruutkeskmine hälve sisaldab hajumist mõõtmiste vahel ühe öö jooksul ning ekstinktsioonikoefitsiendi määramisest tulenevat mõõtemääramatust. Kolmandas veerus on meie ja Munari vastava filtri heleduste vahe, neljandas veerus vastavalt meie ja Goranskij heleduste vahe.

Joonisel 8 on toodud SAAO vaatluste põhjal saadud standardtähtede heledused ( $x$ -teljel) võrrelduna Munari saadud heledustega ( $y$ -teljel meie ja Munari heleduste vahe tähesuurustes) filtrites  $U$ ,  $B$ ,  $V$ ,  $R$  ja  $I$ . Nimetatud joonisel on pideva joonega esitatud nullnivoo, et otsitav võimalik süstemaatiline nihe meie ja Munari heleduste vahel oleks paremini eristuv. Kõigi filtrite korral on näha, et nõrgemad tähed („k“, „m“, „n“ ja „p“) erinevad enamasti rohkem Munari heledustest kui heledamad tähed. Sama tendentsi on näha ka võrreldes meie saadud tulemusi Goranskij heledustega (tabelid 5, 6, 7, 8 ja 9). See võib viidata võimalikule muutlikkusele nende tähtede hulgas (eriti täht „n“), mida tuleks edasipidi täiendavalt uurida.

Kui piirduda tabelites nelja heledama tähega („f“, „g“, „h“ ja „j“) siis paljudel juhtudel ei ületa võrreldavate määrangute erinevused SAAO mõõtmiste kolmekordset viga. Neil juhtudel on õigustatud kasutada erinevate hinnanguvete keskmist väärtust. Suurema diferentsiga juhtudel tuleks eraldi ülesandena uurida lahknevuse põhjust ja mitte kasutada neid võrdlustähtedena.



Joonis 8: Standardheleduste diferents sõltuvalt tähe heledusest.

Tabel 5: SAAO, Munari ja Goranskij V838 Mon võrdlustähtede  $U$ -heleduste võrdlus. Esimeses veerus on tähe tähis (vaata joonist 1). Teises veerus on SAAO  $U$ -heledus koos ruutkeskmise hälbega. Kolmandas veerus on SAAO ja Munari  $U$ -heleduste vahe, neljandas vastavalt SAAO ja Goranskij  $U$ -heleduste vahe.

Täht	SAAO $U$ -heledus $\pm \sigma$	SAAO - Munari	SAAO - Goranskij
f	14.612 $\pm$ 0.012	-0.057	-0.036
g	15.132 $\pm$ 0.011	0.014	-0.061
h	15.455 $\pm$ 0.010	-0.009	-0.016
j	15.394 $\pm$ 0.018	-0.056	-0.056
k	16.760 $\pm$ 0.022	0.008	0.124
m	17.481 $\pm$ 0.056	-0.036	0.059
n	18.871 $\pm$ 0.087	0.166	0.071
p	19.417 $\pm$ 0.133	-0.240	-0.033

Tabel 6: SAAO, Munari ja Goranskij V838 Mon võrdlustähtede  $B$ -heleduste võrdlus.

Täht	SAAO $B$ -heledus $\pm \sigma$	SAAO - Munari	SAAO - Goranskij
f	14.693 $\pm$ 0.009	0.022	0.026
g	14.992 $\pm$ 0.009	0.008	0.037
h	15.447 $\pm$ 0.009	0.037	0.071
j	15.643 $\pm$ 0.009	0.006	0.006
k	16.389 $\pm$ 0.009	0.038	0.149
m	17.349 $\pm$ 0.010	0.030	0.102
n	18.685 $\pm$ 0.015	0.220	0.037
p	19.427 $\pm$ 0.024	-0.097	0.164



Tabel 7: SAAO, Munari ja Goranskij V838 Mon võrdlustähtede  $V$ -heleduste võrdlus.

Täht	SAAO $V$ -heledus $\pm \sigma$	SAAO - Munari	SAAO - Goranskij
f	14.145 $\pm 0.005$	0.026	-0.007
g	14.636 $\pm 0.005$	-0.009	0.027
h	14.823 $\pm 0.005$	-0.010	0.001
j	15.077 $\pm 0.005$	-0.019	-0.019
k	15.550 $\pm 0.006$	0.029	0.024
m	16.568 $\pm 0.006$	0.043	0.001
n	17.821 $\pm 0.011$	0.245	-0.039
p	18.514 $\pm 0.016$	0.011	0.014

Tabel 8: SAAO, Munari ja Goranskij V838 Mon võrdlustähtede  $R$ -heleduste võrdlus.

Täht	SAAO $R$ -heledus $\pm \sigma$	SAAO - Munari	SAAO - Goranskij
f	13.789 $\pm 0.008$	0.038	-0.039
g	14.425 $\pm 0.007$	-0.023	-0.019
h	14.464 $\pm 0.008$	-0.018	-0.010
j	14.691 $\pm 0.009$	-0.032	-0.032
k	15.049 $\pm 0.008$	-0.006	0.020
m	16.089 $\pm 0.012$	-0.014	-0.023
n	17.306 $\pm 0.031$	0.257	-0.001
p	17.962 $\pm 0.028$	-0.110	0.044

Tabel 9: SAAO, Munari ja Goranskij V838 Mon võrdlustähtede *I*-heleduste võrdlus.

Täht	SAAO <i>I</i> -heledus $\pm \sigma$	SAAO - Munari	SAAO - Goranskij
f	13.417 $\pm$ 0.007	0.079	0.045
g	14.133 $\pm$ 0.008	-0.036	0.058
h	14.105 $\pm$ 0.010	-0.014	0.088
j	14.245 $\pm$ 0.006	0.055	0.055
k	14.587 $\pm$ 0.006	0.009	0.052
m	15.618 $\pm$ 0.008	0.691	0.021
n	16.758 $\pm$ 0.033	0.671	0.113
p	17.355 $\pm$ 0.052	-0.059	0.185

## 5 V838 Mon fotomeetria

### 5.1 Tartu Observatooriumi vaatluste tulemused

Tabelis 10 on esitatud Tartu Observatooriumi V838 Mon fotomeetria. Standardhälve nendel kuupäevadel, kus on vaid üks vaatlus, on aasta keskmine standardhälve.

Tabel 10: Tartu Observatooriumi V838 Mon fotomeetria. Esimeses veerus on kuupäev kujul aasta.kuu.päev. Juliuse päeva teises veerus esindab tegelik juliuse päev - 2450000. Kolmandas, neljandas, viiendas ja kuuendas veerus on standardheledused tähesuurustes koos vaatlusveaga  $\sigma$ , vastavalt filtrites B, V, R ja I.

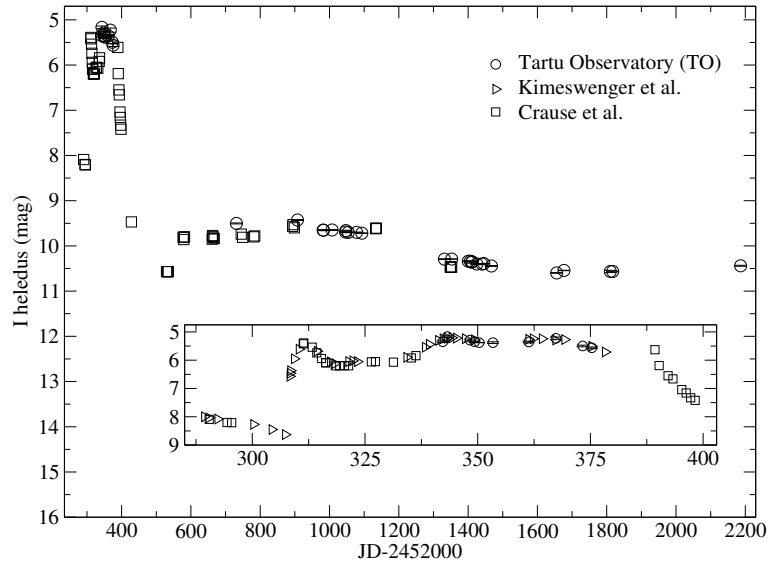
Kuupäev	JD	B-filter	V-filter	R-filter	I-filter
		heledus $\pm \sigma$	heledus $\pm \sigma$	heledus $\pm \sigma$	heledus $\pm \sigma$
2002.03.02	2336.30	9.798 $\pm$ 0.025	7.843 $\pm$ 0.018	—	—
2002.03.08	2342.32	9.066 $\pm$ 0.087	7.211 $\pm$ 0.021	6.263 $\pm$ 0.018	5.347 $\pm$ 0.032
2002.03.09	2343.26	9.051 $\pm$ 0.026	7.173 $\pm$ 0.018	—	5.166 $\pm$ 0.024
2002.03.14	2348.39	9.465 $\pm$ 0.023	7.316 $\pm$ 0.029	6.293 $\pm$ 0.015	5.291 $\pm$ 0.038
2002.03.15	2349.32	9.541 $\pm$ 0.007	7.423 $\pm$ 0.016	6.367 $\pm$ 0.016	5.347 $\pm$ 0.023
2002.03.16	2350.33	9.698 $\pm$ 0.016	7.453 $\pm$ 0.015	6.421 $\pm$ 0.002	5.380 $\pm$ 0.004
2002.03.19	2353.36	9.797 $\pm$ 0.009	7.532 $\pm$ 0.018	6.381 $\pm$ 0.011	5.379 $\pm$ 0.001
2002.03.27	2361.32	10.145 $\pm$ 0.026	7.571 $\pm$ 0.010	—	5.356 $\pm$ 0.024
2002.03.29	2363.30	10.279 $\pm$ 0.026	7.688 $\pm$ 0.018	6.416 $\pm$ 0.011	—
2002.04.02	2367.34	10.469 $\pm$ 0.026	7.788 $\pm$ 0.007	6.474 $\pm$ 0.002	5.228 $\pm$ 0.046
2002.04.08	2373.29	10.945 $\pm$ 0.026	8.194 $\pm$ 0.018	6.735 $\pm$ 0.011	5.497 $\pm$ 0.024
2002.04.10	2375.32	11.243 $\pm$ 0.011	8.354 $\pm$ 0.027	6.922 $\pm$ 0.011	5.562 $\pm$ 0.024
2003.04.01	2731.30	—	—	12.974 $\pm$ 0.012	9.503 $\pm$ 0.011
2003.09.24	2907.59	—	15.622 $\pm$ 0.024	12.555 $\pm$ 0.011	9.428 $\pm$ 0.011
2003.12.07	2981.58	—	15.689 $\pm$ 0.032	—	9.651 $\pm$ 0.009
2003.12.08	2982.54	—	15.713 $\pm$ 0.052	12.567 $\pm$ 0.003	9.655 $\pm$ 0.008
2004.01.02	3007.44	16.586 $\pm$ 0.041	15.709 $\pm$ 0.015	—	9.648 $\pm$ 0.009

Järgneb ...

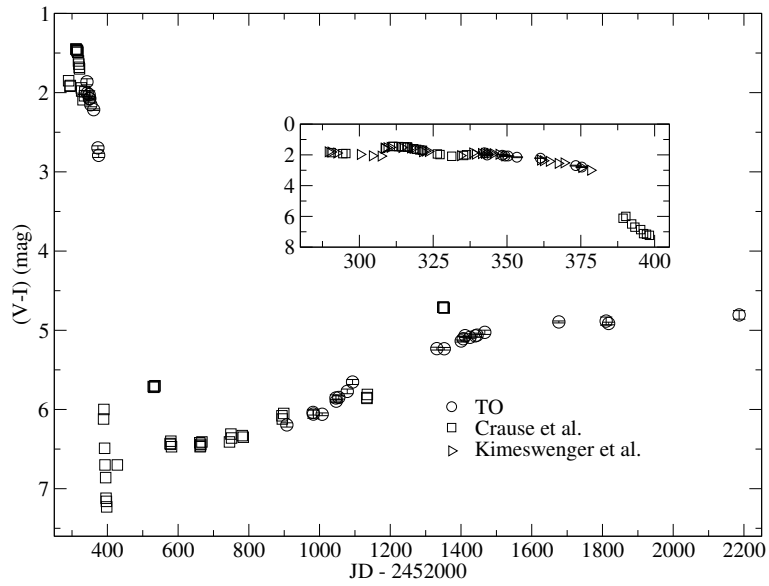
Tabel 10 – Järgneb

Kuupäev	JD	B-filter	V-filter	R-filter	I-filter
		heledus $\pm \sigma$	heledus $\pm \sigma$	heledus $\pm \sigma$	heledus $\pm \sigma$
2004.02.10	3046.41	—	15.550 $\pm$ 0.039	12.513 $\pm$ 0.002	9.695 $\pm$ 0.005
2004.02.11	3047.29	16.605 $\pm$ 0.008	15.561 $\pm$ 0.015	12.570 $\pm$ 0.010	9.662 $\pm$ 0.007
2004.02.18	3054.39	—	15.549 $\pm$ 0.019	—	9.701 $\pm$ 0.008
2004.03.13	3078.27	—	15.472 $\pm$ 0.028	12.517 $\pm$ 0.005	9.701 $\pm$ 0.007
2004.03.28	3093.33	—	15.372 $\pm$ 0.031	12.442 $\pm$ 0.013	9.718 $\pm$ 0.006
2004.11.21	3331.61	16.617 $\pm$ 0.085	15.525 $\pm$ 0.016	—	10.293 $\pm$ 0.009
2004.12.12	3352.57	16.496 $\pm$ 0.014	15.524 $\pm$ 0.016	12.954 $\pm$ 0.006	10.291 $\pm$ 0.003
2005.01.29	3400.47	—	15.474 $\pm$ 0.009	12.925 $\pm$ 0.014	10.339 $\pm$ 0.010
2005.02.04	3406.26	—	15.446 $\pm$ 0.028	12.959 $\pm$ 0.020	10.339 $\pm$ 0.006
2005.02.08	3410.44	16.648 $\pm$ 0.100	—	—	10.361 $\pm$ 0.022
2005.02.09	3411.38	16.543 $\pm$ 0.142	15.420 $\pm$ 0.024	13.023 $\pm$ 0.005	10.352 $\pm$ 0.005
2005.02.23	3425.25	—	15.490 $\pm$ 0.017	13.045 $\pm$ 0.005	10.401 $\pm$ 0.005
2005.03.10	3440.38	—	15.472 $\pm$ 0.008	12.978 $\pm$ 0.013	10.402 $\pm$ 0.013
2005.03.15	3445.30	—	15.453 $\pm$ 0.025	12.998 $\pm$ 0.004	10.391 $\pm$ 0.004
2005.04.06	3467.29	—	15.470 $\pm$ 0.024	13.049 $\pm$ 0.002	10.444 $\pm$ 0.010
2005.10.11	3655.64	—	—	13.217 $\pm$ 0.011	10.598 $\pm$ 0.007
2005.11.01	3676.59	—	15.438 $\pm$ 0.012	13.138 $\pm$ 0.005	10.543 $\pm$ 0.005
2006.03.15	3810.31	—	15.449 $\pm$ 0.045	13.096 $\pm$ 0.009	10.565 $\pm$ 0.025
2006.03.22	3817.28	—	15.480 $\pm$ 0.014	13.112 $\pm$ 0.004	10.566 $\pm$ 0.008
2007.02.22	4154.39	16.353 $\pm$ 0.020	15.051 $\pm$ 0.021	13.014 $\pm$ 0.005	—
2007.03.26	4186.39	—	15.250 $\pm$ 0.046	12.942 $\pm$ 0.016	10.444 $\pm$ 0.011

Joonisel 9 on toodud V838 Mon heleduskõver I filtris ja joonisel 10 ( $V - I$ ) värvusindeks. Võrdluseks oleme nimetatud joonistele lisanud artiklites (Crause et al. 2003, 2005) ja (Kimeswenger et al. 2002) toodud V838 Mon fotomeetrilised vaatlused. On näha, et meie vaatlused langevad üsna hästi kokku teiste avaldatud andmetega. Üksikud lahkuminekid hilisematel ajahetkedel võivad olla tingitud tähe suhteliselt väikesest heledusest, mistõttu vaatlusvead on

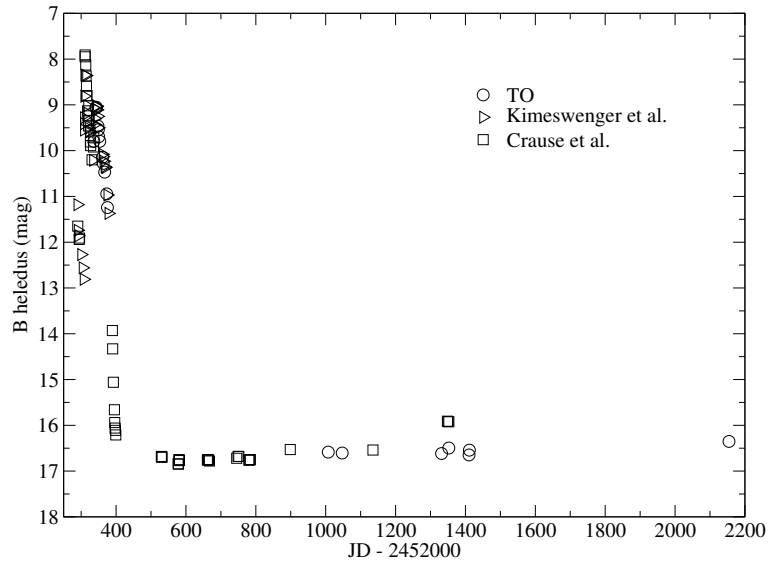


Joonis 9: Heleduskõver filtris I

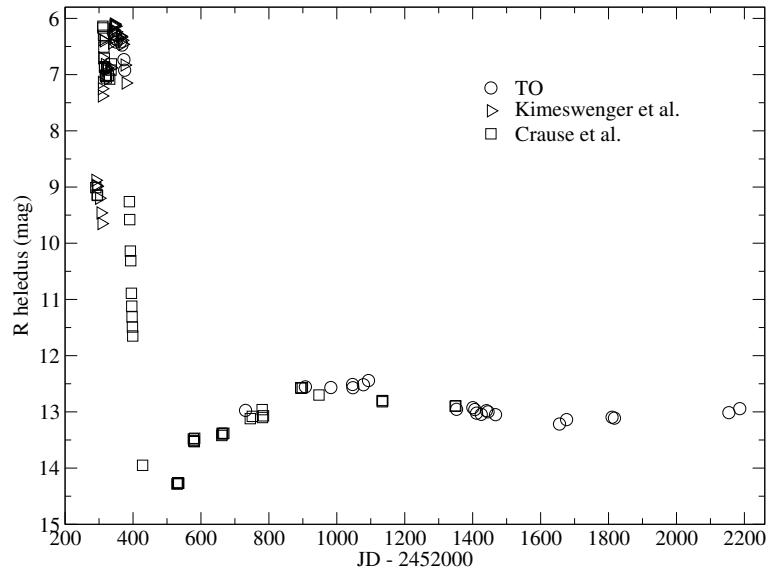


Joonis 10: Värvusindeks ( $V - I$ )

suuremad. Samuti võib mõju avaldada asjaolu, et V838 Mon on hilistel epochidel jätkuvalt enneolematult punane tähte ( $(V - I) \sim 5$  tähesuurust), mis

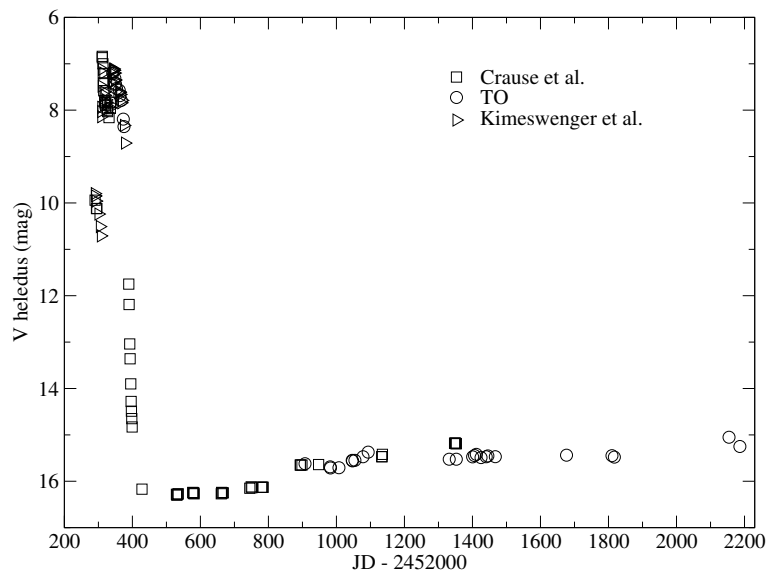


Joonis 11: Heleduskõver filtris B



Joonis 12: Heleduskõver filtris R

nõuab süstemaatilise veast vaba tulemuse saamiseks ka värvisüsteemi kalibreerimist samavõrra punase standardtähega. Sellist standardtärget aga pole olemas. Joonistel 11, 12 ja 13 on vastavalt standardheledused filtrites B, R



Joonis 13: Heleduskõver filtris V

ja V.

## 5.2 SAAO vaatluste tulemused

Eesti astrokliima ei võimalda tavaliselt vaatlusi tiheda ajasammuga. Seda kinnitab ka Tartu Observatooriumi vaatluste ajatabel (vaata lisa 1). Seetõttu on erilise tähtsusega T. Tuvikese tehtud SAAO vaatlused (vaata tabel 11). Lisaks ööpäevase vahega saadud andmete infomahukusele on oluline ka vaatluste toimumise periood, sest saadud aegrida (31. jaanuar 2007 kuni 13. märts 2007) iseloomustab kaksiktähe V838 Mon olukorda pärast ootamatult toimunud kuuma komponendi varjutust novembris-detsembris 2006. aastal. (Goranskij 2006; Bond 2006). Seega on suur tõenäosus, et järgnevalt kirjeldatavad tulemused on olulised V838 Mon füüsikaliste parameetrite määramisel/täpsustamisel.

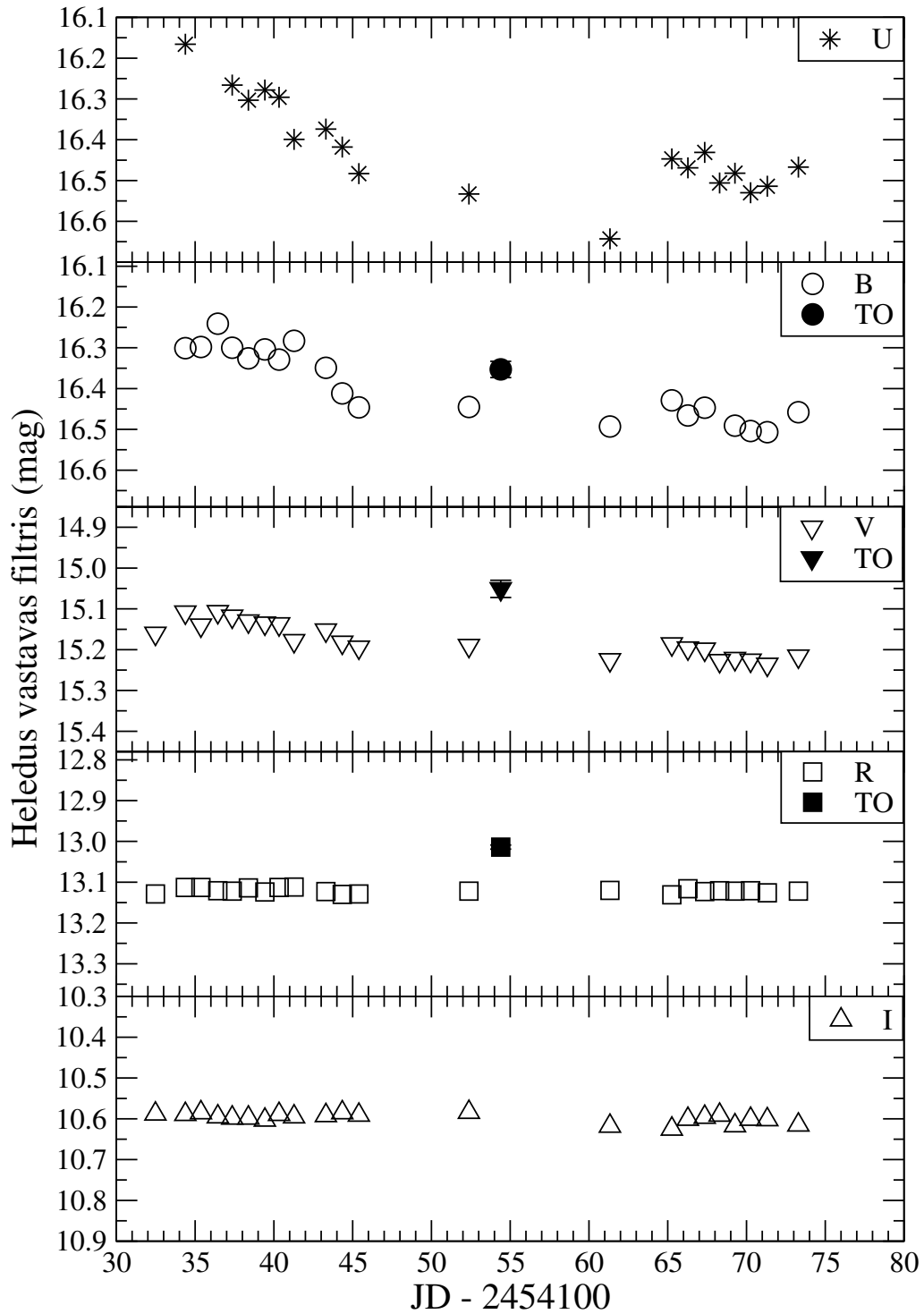
Joonisel 14 on esitatud SAAO vaatluste põhjal saadud V838 Mon heledused filtrites U, B, V, R ja I ja üks sellesse perioodi langev Tartu Observatooriumis tehtud vaatlus (22. veebruar 2007) filtrites B, V ja R. Nimetatud joonisel on y-telje skaala sarnane iga alampildi jaoks, mis toob selgesti esile V838 Mon suurema muutlikkuse filtrites U, B ja V vaadeldud ajavahemiku jooksul (31. jaanuar kuni 13. märts 2007). Neis kolmes filtris on märgatav heleduse languse tendents, samas R ja I piirkonnas heledus püsib (SAAO vaatluste korral). R filtris tuleb esile Tartu Observatooriumi vaatlustulemuse erinevus kõrvalolevatest kuupäevadest. Arvestades, et heleduse järsud hüpped U filtris kajastuvad ka B ja V filtris, siis ei ole võimatu, et see tõi kaasa heleduse muutuse ka R filtris.

Eespool viidatud V838 Mon kaksiklus ja 2006. a. lõpus toimunud kuuma komponendi varjutus osutavad, et langustrendi võib seostada B3 V spektriklassi tähe ja külma ülihiu interaktsiooni muutlikkusega (vastasmõju kaanemisega). Ilmselt toimub kuuma komponendi taastumise protsess pärast lähikontakti ülihiu ulatusliku ümbrisega varjutuse ajal. B3 V tähe väljumisega sellest ümbrisest võivad kaasnedä gaasitihendused, mis võivad põhjustada heleduskõveratel esinevaid võnkeid.



Tabel 11: SAAO V838 Monocerotis vaatlused. Esimeses veerus on toodud modifitseeritud Juliuse päev, mis võrdub tegelik konkreetne Juliuse päev - 2454100. Teisest kuni kuuenda veeruni on heledus koos veega vastavalt filterites U, B, V, R ja I.

JD	U $\pm \sigma$	B $\pm \sigma$	V $\pm \sigma$	R $\pm \sigma$	I $\pm \sigma$
32.48	—	—	15.160 $\pm$ 0.012	13.129 $\pm$ 0.001	10.588 $\pm$ 0.000
34.38	16.166 $\pm$ 0.004	16.301 $\pm$ 0.012	15.108 $\pm$ 0.006	13.113 $\pm$ 0.007	10.589 $\pm$ 0.000
35.37	—	16.298 $\pm$ 0.011	15.140 $\pm$ 0.006	13.113 $\pm$ 0.007	10.585 $\pm$ 0.007
36.44	—	16.241 $\pm$ 0.013	15.107 $\pm$ 0.006	13.121 $\pm$ 0.007	10.595 $\pm$ 0.007
37.35	16.266 $\pm$ 0.014	16.300 $\pm$ 0.017	15.118 $\pm$ 0.007	13.122 $\pm$ 0.002	10.598 $\pm$ 0.002
38.38	16.303 $\pm$ 0.022	16.326 $\pm$ 0.010	15.130 $\pm$ 0.006	13.114 $\pm$ 0.007	10.598 $\pm$ 0.006
39.43	16.278 $\pm$ 0.030	16.304 $\pm$ 0.011	15.135 $\pm$ 0.006	13.124 $\pm$ 0.007	10.603 $\pm$ 0.006
40.33	16.296 $\pm$ 0.019	16.329 $\pm$ 0.013	15.137 $\pm$ 0.005	13.113 $\pm$ 0.001	10.589 $\pm$ 0.002
41.28	16.399 $\pm$ 0.019	16.283 $\pm$ 0.037	15.178 $\pm$ 0.124	13.112 $\pm$ 0.003	10.595 $\pm$ 0.009
43.30	16.374 $\pm$ 0.021	16.349 $\pm$ 0.010	15.152 $\pm$ 0.006	13.123 $\pm$ 0.007	10.592 $\pm$ 0.006
44.34	16.418 $\pm$ 0.020	16.412 $\pm$ 0.010	15.182 $\pm$ 0.006	13.130 $\pm$ 0.003	10.585 $\pm$ 0.006
45.39	16.483 $\pm$ 0.021	16.446 $\pm$ 0.010	15.194 $\pm$ 0.006	13.129 $\pm$ 0.003	10.591 $\pm$ 0.002
52.38	16.533 $\pm$ 0.005	16.445 $\pm$ 0.024	15.190 $\pm$ 0.008	13.122 $\pm$ 0.004	10.584 $\pm$ 0.002
61.33	16.643 $\pm$ 0.029	16.493 $\pm$ 0.030	15.225 $\pm$ 0.006	13.120 $\pm$ 0.020	10.618 $\pm$ 0.007
65.26	16.447 $\pm$ 0.026	16.429 $\pm$ 0.011	15.186 $\pm$ 0.006	13.131 $\pm$ 0.001	10.625 $\pm$ 0.006
66.28	16.469 $\pm$ 0.025	16.466 $\pm$ 0.010	15.196 $\pm$ 0.006	13.116 $\pm$ 0.001	10.601 $\pm$ 0.006
67.35	16.431 $\pm$ 0.037	16.447 $\pm$ 0.011	15.199 $\pm$ 0.006	13.123 $\pm$ 0.005	10.596 $\pm$ 0.006
68.29	16.506 $\pm$ 0.022	—	15.227 $\pm$ 0.006	13.121 $\pm$ 0.000	10.591 $\pm$ 0.003
69.27	16.482 $\pm$ 0.022	16.491 $\pm$ 0.010	15.222 $\pm$ 0.006	13.122 $\pm$ 0.004	10.617 $\pm$ 0.006
70.26	16.530 $\pm$ 0.021	16.504 $\pm$ 0.010	15.226 $\pm$ 0.006	13.121 $\pm$ 0.002	10.601 $\pm$ 0.006
71.32	16.514 $\pm$ 0.021	16.507 $\pm$ 0.010	15.236 $\pm$ 0.006	13.126 $\pm$ 0.001	10.602 $\pm$ 0.006
73.29	16.467 $\pm$ 0.023	16.458 $\pm$ 0.003	15.216 $\pm$ 0.006	13.122 $\pm$ 0.002	10.615 $\pm$ 0.006



Joonis 14: Heleduskõverad SAAO vaatluste korral filtrites (ülalt alla) U, B, V, R, I. Täidetud sümbolid on Tartu Observatooriumi vaatlused 22. veebruaril 2007. a.

## 6 Kokkuvõte

Lähtuvalt raskustest pekuliaarse muutliku tähe V838 Mon käitumise tõlgendamisel on oluline pidevalt täiendada kooperatiivset rahvusvahelist vaatlusandmete baasi selle objekti kohta. Fotomeetrilised aegread on andmebaasi tähtis osa. Käesolevas töös on esitatud V838 Mon heleduskõverad aastail 2002-2007, mis põhinevad Tartu Observatooriumis ja Lõuna-Aafrika Astrooomia Observatooriumis (SAAO) tehtud vaatlustel ning on töö autori panus nimetatud andmebaasi. Rõhutada võib andmete SAAO-st pärinevat osa, kus uue nähtusena on täheldatud heledusvõnkumisi, mis kaasnevad V838 Mon tagasipöördumisega stabiilsesse olekusse pärast tähekomponentide lähenemist ja kuumu komponendi varjutust 2006. a. lõpul.

Uuritava objekti heledusandmete kvaliteeti määrab kasutatava võrdlustähtede kalibreerimise täpsus. Käesoleva töö põhjal saab teha järelduse, et meie mõõtmisvigade piires on V838 Mon puhul üldkasutatavate võrdlustähtede heledus olnud konstatne ja nende standardsed heledused on määratud süstemaatilise veata. Seega on ka V838 Mon heledused juhuslike mõõtmisvigade piires usaldusväärsed.

Lõpetuseks tänan oma juhendajaid Indrek Kolkat ja Tõnis Eenmäed kanatliku meele ning üksikasjaliku juhendamise eest. Tänu neile olen käesoleva magistritöö koostamisel täiendanud oluliselt oma teadmisi tähefüüsika valdkonnas. Taavi Tuvikest tänane SAAO-s tehtud vaatluste tegemise eest.

## Kasutatud kirjandus

- Afşar M., Bond H.E., 2007, A Young Stellar Cluster Surrounding the Peculiar Eruptive Variable V838 Monocerotis, *Astronomical Journal* vol. 133, 387–393
- Bond H.E., 2006, V838 Mon engulfs its companion, *The Astronomer's Telegram* vol. 966, 1–+
- Brown N.J., Waagen E.O., Scovil C., Nelson P., Oksanen A., Solonen J., Price A., 2002, Peculiar variable in Monoceros., *IAU Circ.* vol. 7785, 1–+
- Crause L.A., Lawson W.A., Kilkenny D., van Wyk F., Marang F., Jones A.F., 2003, The post-outburst photometric behaviour of V838 Mon, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 341, 785–791
- Crause L.A., Lawson W.A., Menzies J.W., Marang F., 2005, V838 Mon: light echo evolution and distance estimate, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 358, 1352–1360
- Desidera S., Munari U., 2002, V838 Monocerotis, *IAU Circ.* vol. 7982, 1–+
- Galadí-Enríquez D., Trullols E., Jordi C., 2000, Secondary UBVRI-CCD standard stars in the neighbourhood of Landolt standard stars, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* vol. 146, 169–177
- Goranskij V., 2006, Sudden decay of V838 Mon, *The Astronomer's Telegram* vol. 964, 1–+
- Goranskij V.P., Shugarov S.Y., Barsukova E.A., Kroll P., 2004, V838 Mon Before and After Its Outburst, *Informational Bulletin on Variable Stars* vol. 5511, 1–+
- Henden A., Munari U., Schwartz M., 2002, V838 Monocerotis, *IAU Circ.* vol. 7859, 1–+

- Kimeswenger S., Lederle C., Schmeja S., Armsdorfer B., 2002, The peculiar variable V838 Mon, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 336, L43–L47
- Kipper T., Klochkova V.G., Annuk K., Hirv A., Kolka I., Leedjärv L., Puss A., Skoda P., Slechta M., 2004, The peculiar variable V838 Monocerotis, *Astron. Astrophys.* vol. 416, 1107–1115
- Liimets T., 2005, Pekuliaarse muutliku tähe V838 Monocerotis valguskaja, Tartu Ülikool, bakalaureusetöö
- Liimets T., Kolka I., Kipper T., 2007, Photometry of V838 Mon and its Light Echo, in: *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, eds. Corradi R.L.M., Munari U., vol. 363 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, 174–+
- Munari U., Desidera S., Henden A., 2002a, V838 Monocerotis, *IAU Circ.* vol. 8005, 2–+
- Munari U., Henden A., Kiyota S., Laney D., Marang F., Zwitter T., Corradi R.L.M., Desidera S., Marrese P.M., Giro E., Boschi F., Schwartz M.B., 2002b, The mysterious eruption of V838 Mon, *Astron. Astrophys.* vol. 389, L51–L56
- Retter A., Marom A., 2003, A model of an expanding giant that swallowed planets for the eruption of V838 Monocerotis, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 345, L25–L28
- Soker N., Tylenda R., 2003, Main-Sequence Stellar Eruption Model for V838 Monocerotis, *Astrophys. J.* vol. 582, L105–L108
- Tuvikene T., 2001, Tartu Observatooriumi CCD-fotomeetri kalibreerimine, Tartu Ülikool, bakalaureusetöö
- Tuvikene T., 2003, Programmipakett fotomeetriliste vaatlusandmete analüüsiks Tartu Observatooriumis, Tartu Ülikool, magistriväitekirj

Wagner R.M., Starrfield S.G., 2002, V838 Monocerotis, IAU Circ.vol. 7992,  
2-+

# Summary

## Photometry of the peculiar variable V838 Mon and its comparison stars

We present the lightcurves of V838 Mon in the  $UBVR_cI_c$  photometric system over the five years period 2002-2007. The data have been collected at the Tartu Observatory and at the South African Astronomical Observatory. We conclude that our long-term data are concordant with published earlier results, and are a complement to the common database on V838 Mon. In the beginning of 2007 we have discovered the oscillating decline in the  $U$ ,  $B$  and  $V$  brightness of the V838 Mon which we consider as the recovery of the binary system after the periastron passage and eclipse at the end of 2006.

Through detailed analysis we confirm the constancy of commonly used comparison stars to V838 Mon. Their brightness values given by Munari et. al (2002b) have been confirmed by our analysis in the limits of our measurements errors.

# LISA 1

Tabel 12: V838 Monocerotis vaatlused Tartu Observatooriumis. Esimeses veerus on kuupäev kujul aasta.kuu.päev. Juliuse päev teises veerus võrdub (JD, ingl. k. *Julian Day*) tegelik konkreetne Juliuse päev - 2450000. Kolmandas, neljandas, viiendas ja kuuendas veerus on V838 Mon heleduse leidmiseks kasutatud kaadrite arv vastavalt filtrites B, V, R ja I.

Kuupäev	JD	B-filter	V-filter	R-filter	I-filter
2002.03.02	2336.30	2	1	—	—
2002.03.08	2342.32	2	46	2	2
2002.03.09	2343.26	1	1	—	1
2002.03.14	2348.39	5	47	5	4
2002.03.15	2349.32	3	2	2	2
2002.03.16	2350.33	4	4	2	3
2002.03.19	2353.36	2	1	1	2
2002.03.27	2361.32	1	2	—	1
2002.03.29	2363.30	1	1	1	—
2002.04.02	2367.34	1	2	2	2
2002.04.08	2373.29	1	1	1	1
2002.04.10	2375.32	2	10	1	1
2003.04.01	2731.30	—	—	5	5
2003.09.24	2907.59	—	5	4	5
2003.12.07	2981.58	—	6	—	15
2003.12.08	2982.54	—	8	2	28
2004.01.02	3007.44	2	17	—	30
2004.02.10	3046.41	—	4	2	22

Järgneb ...



Tabel 12 – Järgneb

Kuupäev	JD	B-filter	V-filter	R-filter	I-filter
2004.02.11	3047.29	2	4	2	27
2004.02.18	3054.39	—	2	—	15
2004.03.13	3078.27	—	3	3	29
2004.03.28	3093.33	—	2	8	12
2004.11.21	3331.61	5	3	—	37
2004.12.12	3352.57	2	3	3	3
2005.01.29	3400.47	—	2	3	3
2005.02.04	3406.26	—	2	3	3
2005.02.08	3410.44	6	—	—	10
2005.02.09	3411.38	4	3	6	40
2005.02.23	3425.25	—	2	5	5
2005.03.10	3440.38	—	3	5	10
2005.03.15	3445.30	—	6	4	5
2005.04.06	3467.29	—	3	4	20
2005.10.11	3655.64	—	—	2	10
2005.11.01	3676.59	—	5	5	14
2006.03.15	3810.31	—	6	5	5
2006.03.22	3817.28	—	5	4	6
2007.02.22	4154.39	10	6	3	—
2007.03.26	4186.39	—	5	6	4

## LISA 2

Tabel 13: Tähe V838 Mon vaatlused SAAO-s. Esimeses veerus on kuupäeva (aasta.kuu.päev). Teises veerus on tegelik konkreetne Juliuse päev - 2454000. Kolmandast kuni seitsmenda veeruni on toodud V838 Mon heleduste leidmiseks kasutatud kaadrite vaatluste arv vastavalt filtrites U, B, V, R ja I.

Kuupäev	JD	U	B	V	R	I
2007.01.31	132.48	—	—	2	2	2
2007.02.02	134.38	1	1	1	1	2
2007.02.03	135.37	—	1	1	1	1
2007.02.04	136.44	—	1	1	1	1
2007.02.05	137.35	3	3	3	3	3
2007.02.06	138.38	1	1	1	1	1
2007.02.07	139.43	1	1	1	1	1
2007.02.08	140.33	1	2	2	3	2
2007.02.09	141.28	2	1	2	2	1
2007.02.11	143.30	1	1	1	2	1
2007.02.12	144.34	1	1	1	2	1
2007.02.13	145.39	1	1	1	3	3
2007.02.20	152.38	2	2	4	7	2
2007.03.01	161.33	2	1	1	3	3
2007.03.05	165.26	1	1	1	2	1
2007.03.06	166.28	1	1	1	2	1
2007.03.07	167.35	1	1	1	2	1
2007.03.08	168.29	1	—	1	2	3
2007.03.09	169.27	1	1	1	2	1
2007.03.10	170.26	1	1	1	2	1
2007.03.11	171.32	1	1	1	2	1
2007.03.13	173.29	1	2	1	2	1

## LISA 3

Tabel 14: Artiklis (Munari et al. 2002b) toodud V838 Monocerotis võrdlustähed. Esimeses veerus on tähe tähis (vaata joonis 1). Teisest kuni kuenda veeruni on heledused tähesuurustes vastavalt filtrites U, B, V, R ja I.

Täht	<i>U</i> -heledus	<i>B</i> -heledus	<i>V</i> -heledus	<i>R</i> -heledus	<i>I</i> -heledus
f	14.669	14.671	14.119	13.751	13.338
g	15.118	14.984	14.645	14.448	14.169
h	15.464	15.410	14.833	14.482	14.119
j	15.450	15.637	15.096	14.723	14.190
k	16.752	16.351	15.521	15.055	14.578
m	17.517	17.319	16.525	16.103	14.927
n	18.705	18.465	17.576	17.049	16.087
p	19.657	19.524	18.503	18.072	17.414

Tabel 15: Artiklis (Goranskij et al. 2004) toodud V838 Monocerotis võrdlustähed. Esimeses veerus on tähe tähis (vaata joonis 1). Teisest kuni kuenda veeruni on heledused tähesuurustes vastavalt filtrites U, B, V, R ja I.

Täht	<i>U</i> -heledus	<i>B</i> -heledus	<i>V</i> -heledus	<i>R</i> -heledus	<i>I</i> -heledus
f	14.648	14.667	14.152	13.828	13.372
g	15.193	14.955	14.609	14.444	14.075
h	15.471	15.376	14.822	14.474	14.017
j	15.450	15.637	15.096	14.723	14.190
k	16.636	16.240	15.526	15.029	14.535
m	17.422	17.247	16.567	16.112	15.597
n	18.800	18.648	17.860	17.307	16.645
p	19.450	19.263	18.500	17.918	17.170