

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



## HR diagram

Projekt pri predmetu Astronomija 2

Žiga Kos, Matic Lubej, Andrej Dvornik, Primož Cigler

Ljubljana, september 2011

Predavatelj: prof. dr. Andrej Čadež  
Asistent: dr. Uroš Kostić

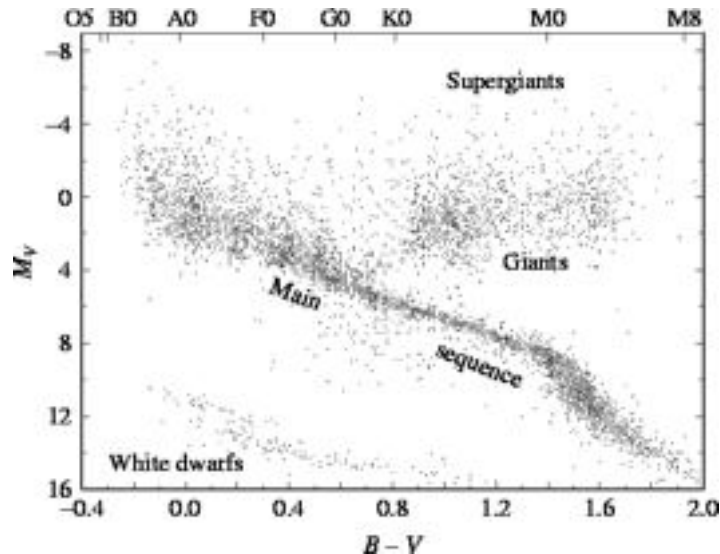
## Povzetek

Del obveznosti pri predmetu Astronomija 2 je tudi izvedba enega od projektov. Naša skupina si je izbrala projekt z naslovom HR diagram razsute kopice. V tem poročilu želimo predstaviti naše delo; od zajemanja podatkov do obdelave in končnega sklepa.

# 1 Uvod

## 1.1 Kaj je HR diagram?

V začetku 20. stoletja je bilo znanih že dosti podatkov o spektralnem tipu in absolutni magnitudi zvezd. Danski astronom Ejnar Hertzsprung je leta 1905 objavil članek, v katerem je potrdil koralecijo med absolutno magnitudo zvezde in njenim spektralnim tipom. Sočasno je do enakih zaključkov prišel Henry Norris Russel iz univerze v Princetonu, ki pa je podatke objavil tudi v grafični obliki. Na absciso je nanašal spektralni tip zvezde, na ordinato pa absolutno magnitudo. Ker so spektralni tipi diskretni, to ni najbolj uporaben način prikaza. Danes sta poleg spektralnih tipov prikazani na abscisi lahko še efektivna temperatura ali barvni indeks zvezde, na ordinati pa še izsev. Primer HR diagrama je prikazan na sliki 1.

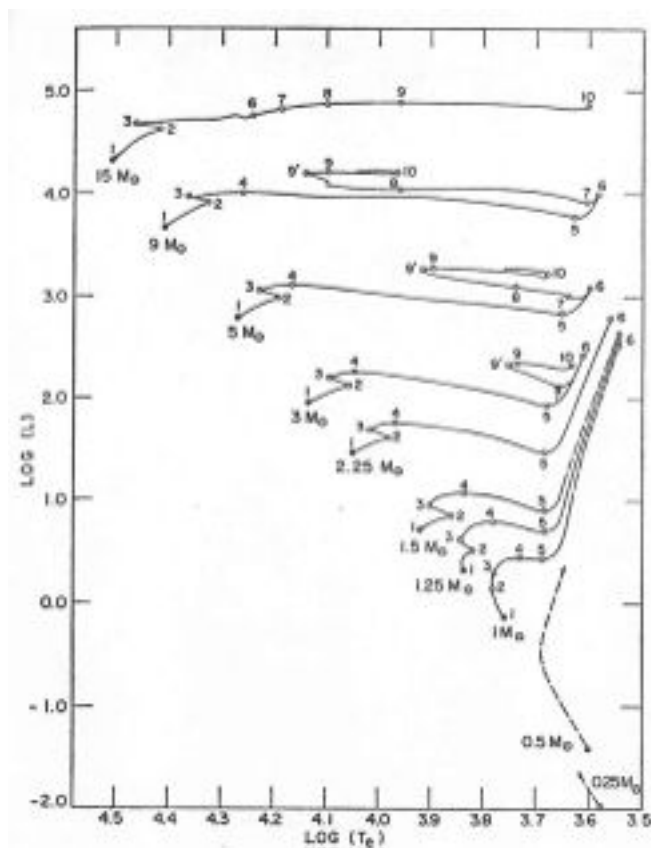


Slika 1: Moderni HR diagram. Vir:[1]

Večina zvezd se nahaja na tako imenovani glavni veji. Tako Hertzsprung kot Russel pa sta že opazila zvezde, ki so istega spektralnega tipa kot zvezde glavne veje, le njihov izsev je večji. Iz Stefanovega zakona  $L = S\sigma T^4$  lahko sklepamo, da je velik izsev posledica velikega radija zvezde. Te zvezde imenujemo orjakinje, še večje od njih pa nadorjakinje. Radij orjakinj je med 20 do 100 radijev Sonca. Opazimo pa lahko tudi manjšo skupino zvezd z nizkim izsevom, a veliko temperaturo. To so bele pritlikavke. Višje, kot je zvezda na glavni veji, večjo maso ima. Mase zvezd na glavni veji so nekje med 0.5 do 15 mas Sonca.

## 1.2 Evolucija zvezde glavne veje

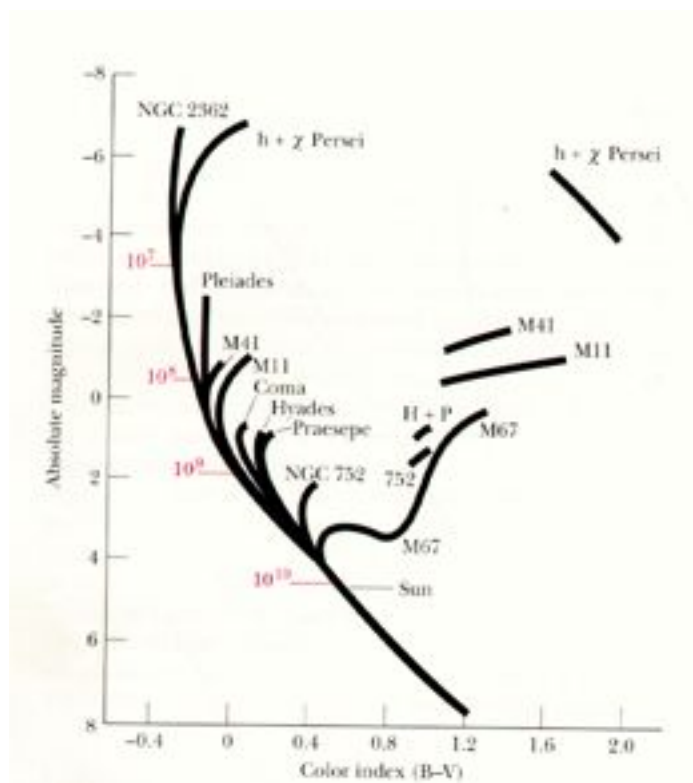
Zvezde glavne veje večino svojega življenja pretvarjajo vodik v jedru v helij. Za Sonce je ta doba približno  $10^{10}$  let. Zato leži tudi večina zvezd na glavni veji. Zvezde z večjo maso preživijo na glavni veji manj časa, saj velja  $L \propto M^{3.3}$ . Ko vodika v jedru zmanjka, se zvezda začne krčiti, ker se fotonški tlak zmanjša. Jedro zvezde je tedaj večinoma le še iz helija. Dodatno krčenje segreje vodik ob jedru, kjer ponovno poteče fuzija, pritisk pa razširi zvezdino ovojnico. Ta se ohladi. Na HR diagramu se zvezda pomakne proti nižjim temperaturam, a zaradi večje površine, večjim izsevom. Zvezdam v tej fazi razvoja rečemo rdeče orjakinje. Sonce bo, kot rdeča orjakinja, imelo 250-krat večji radij od zdajšnjega. Jedro take zvezde pa se bo še naprej krčilo in segrevalo, dokler temperatura ne bo dovolj visoka, da bo potekel trojni alfa proces zgorevanja helija v ogljik. Nadaljni potek je odvisen od mase zvezde. Manj masivne zvezde bodo odpihnile ovojnico in postale bele pritlikavke. V masivnejših zvezdah bo ogljik naprej zgoreval, njihova končna faza pa je nevtronska zvezda ali črna luknja. Na sliki 2 je prikazano, kako se spreminja položaj zvezde na HR diagramu, po odcepitvi od glavne veje.



Slika 2: Razvoj zvezd po odcepitvi od glavne veje za zvezde z različnimi masami. Vir:[1]

### 1.3 HR diagram zvezdne kopice

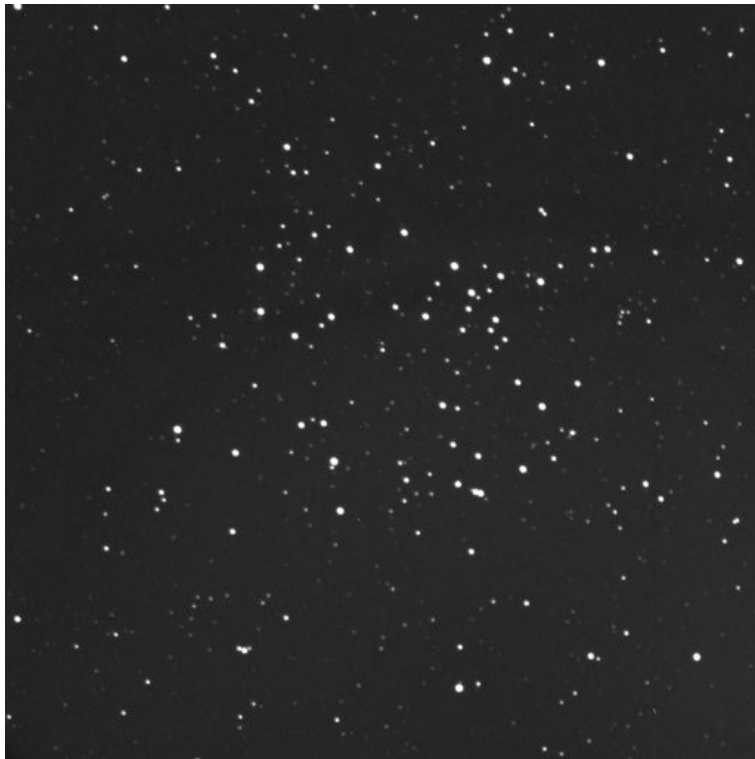
Zvezde v zvezdni kopici so nastale približno hkrati in iz istega oblaka prahu, ker pomeni, da imajo podobno kemično sestavo. Zato so ob nastanku ležale na ozkem pasu na glavni veji. Masivnejše zvezde v kopici prej porabijo vodik v jedru, zato se prej odcepijo od glavne veje. Torej lahko, glede na to, kakšna je oblika HR diagrama zvezdne kopice, sklepamo o njeni starosti. Primer tega je prikazan na sliki 3. Kopica M67 je stara približno 4 milijarde let, medtem ko je M11 stara le približno 220 milijonov let.



Slika 3: HR diagram različnih zvezdnih kopic. Vir:[1]

## 2 Opazovanje

Opazovanje za ta projekt je potekalo od 22.01 LT do 01:30 LT na noč iz 10. na 11. maj. Slikali smo zvezdne kopice s teleskopom Vega v treh barvnih filtrih B, V in R. Slikali smo le eno razsuto kopico, saj tedaj ni bilo na nebu skoraj nobene druge, zato smo slikali še dve kroglasti kopici. Slikali smo razsuto kopico NGC 6811 in kroglasti kopici M3 ter NGC 5053. Ker kopice nimajo veliko svetlih zvezd, smo se odločili za ekspozicijske čase od 200 do 300 sekund. Na posnetkih ni bila nobena kopica pri nobenem ekspozicijskem času preosvetljena. Sproti smo korigirali posnetke s flatdark.py (korigacija z dark, flat in bias posnetki) in izvajali astrometrični fit z writewcs.pl (zapis nebesnih koordinat). Pri opazovanju nam je z upravljanjem teleskopa pomagal Teo Močnik.



Slika 4: Posnetek razsute kopice NGC 6811.



Slika 5: Posnetek kroglaste kopice M3.

### 3 Obdelava podatkov

Obdelave podatkov smo se lotili s programoma Iris in IRAF. Program Iris smo uporabili za poravnavo posnetkov in izdelavo povprečenih fotografij, ker je delo z njim za to opravilo malenkost enostavnejše kot z IRAF-om. Ko smo posnetke tako poravnali smo delovni proces nadaljevali z programom IRAF.

Za izdelavo HR diagrama, smo uporabili aperturno fotometrijo, ki jo zna izvesti IRAF s pomočjo programskega paketa apphot (ki se nahaja v: noao / digiphot / apphot). Za aperturno fotometrijo je bilo potrebno nastaviti nekaj parametrov v parametričnih datotekah: @datapars, @centerpars, @fitskypars, @photpars. Parametri so se nanašali na lastnosti zvezd na slikah (čas osvetlitve slike, največja in najnižja vrednost pikslov, ki še veljajo za zvezdo, FWHM zvezd, standardna deviacija vrednosti ozadja, lastnosti kamere in nastavitve za aperturo). Vse te podatke se pridobi iz slik s pomočjo ukaza imexam. Ko smo imeli te parametre pripravljene, smo zagnali ukaz daofind. Ta ukaz poišče na sliki zvezde. Podatke o tem kaj na sliki je zvezda, smo predhodno nastavili z @datapars. Nato se v posebno .coo datoteko zapišejo vse koordinate najdenih zvezd, kar uporabimo kasneje pri določanju fotometričnih podatkov. To naredimo za vsako sliko posebej. Ker lahko na sliki tudi prikažemo, kje je daofind našel zvezde (z ukazom tvmark), smo zato nekajkrat nekatere parametre izboljšali, tako da smo zajeli več zvezd in izključno samo zvezde v kopici (ter ne artefaktov). Ko smo pripravili vse .coo datoteke, smo zagnali ukaz phot, ki v bistvu naredi najpomembnejše delo - aperturno fotometrijo vseh zvezd, ki smo jih poiskali z daofind. Po dokončanju ukaza, se v posebno .mag datoteko zapišejo podatki o položajih zvezd, zaporedni številki, magnitudah in efektivnih napakah. Ker je ta datoteka izredno nepregledna, smo uporabili še ukaz pdump, s pomočjo katerega, smo v .txt datoteko prepisali vse podatke, ki smo jih potrebovali za izris HR diagrama in za kalibracijo dobljenega HR diagrama. Za nekaj zvezd phot ni mogel določiti magnitude, kar se v izpisu pozna kot zapis INDEF. Vseh vrstic s to besedo smo se znebili, saj ne prispevajo k določitvi HR diagrama.

Tako dobljene datoteke z zapisom o magnitudah v posameznem filtru smo morali potem za vsak objekt združiti v eno, obenem pa smo morali v vseh datotekah poiskati iste zvezde. Iskanje istih zvezd je olajšalo dejstvo, da smo posnetke predhodno poravnali. Tako so imele zvezde, ne glede na različno .coo datoteko, bolj ali manj enake koordinate (zelo malo odstopanja v vrednosti koordinat, ki so podane kot položaj posameznih pikslov na sliki). V končni datoteki smo imeli tako zapisane vse magnitude v filtirih B, R in V.

Izmed naših posnetkov smo temeljito obdelali le kopico NGC 6811, ker je bila edina za to primerna. Ker sta ostali dve kopici kroglasti, smo dobili podatke za zelo malo zvezd in z mnogo prevelikimi napakami, zato smo v arhivu observatorija Golovec poiskali še dodatno razsuto kopico M67, ki je bila posneta z filtri B in V in na njej ponovili isti postopek.

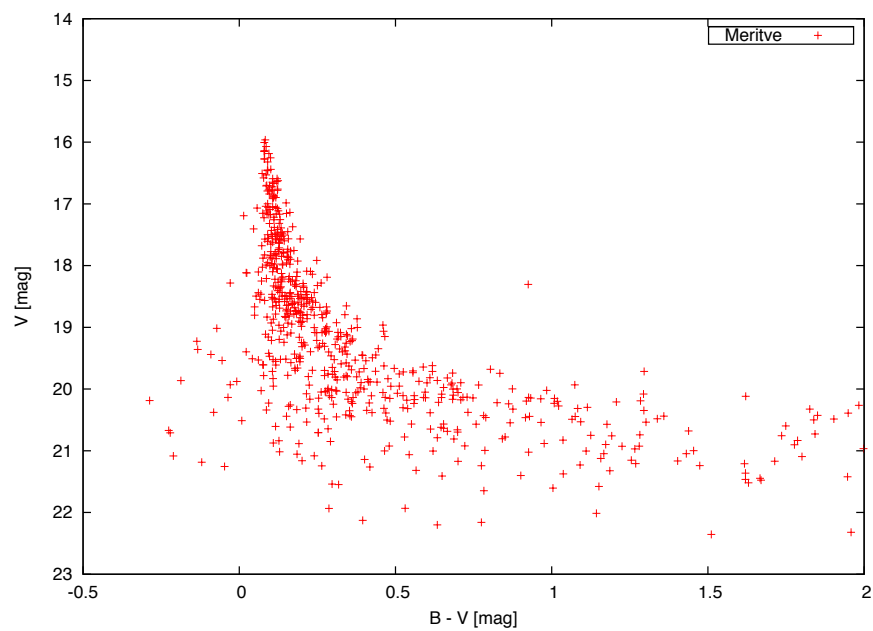
Za ti kopici smo naredili HR diagram (s pomočjo programa Gnuplot) in na podlagi podatkov iz arhiva Instituta astronomije Univerze na Dunaju - Webda, določili še kalibracijsko konstanto. To smo izvedli tako, da smo določili zvezde iz istega območja na HR diagramu in določili magnitudo, za katero se posamezne zvezde razlikujejo (v vsakem filtru posebej) in nato ustrezno premaknili naš HR diagram.

## 4 Rezultati

### 4.1 NGC 6811

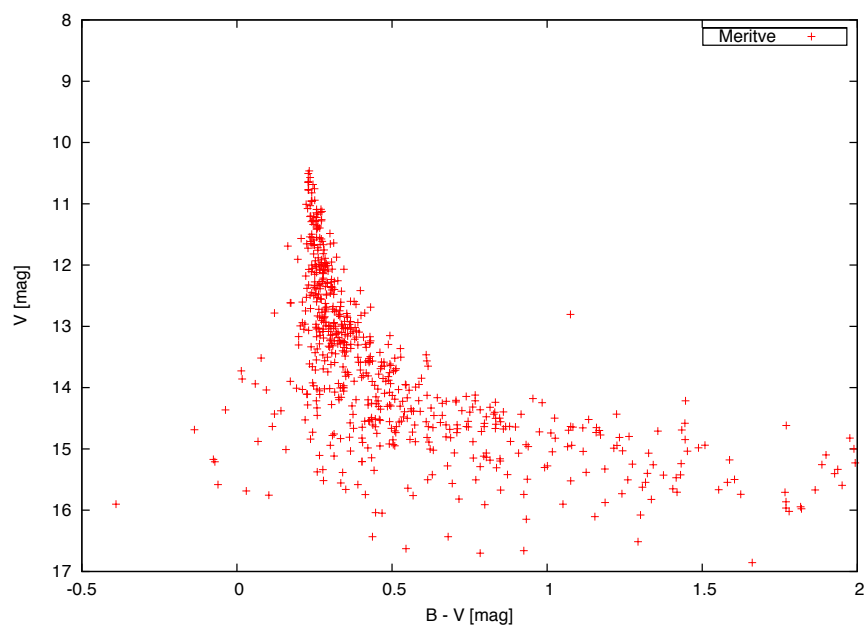
Najprej bi predstavili nekalibriran HR diagram zvezdne kopice NGC 6811, nato pa še kalibriranega in na isti graf zložena naš in HR diagram iz arhiva Webda. Kalibracijski konstanti znašata:

- $V: 5.5 \pm 0.03$
- $B-V: 0.15 \pm 0.03$

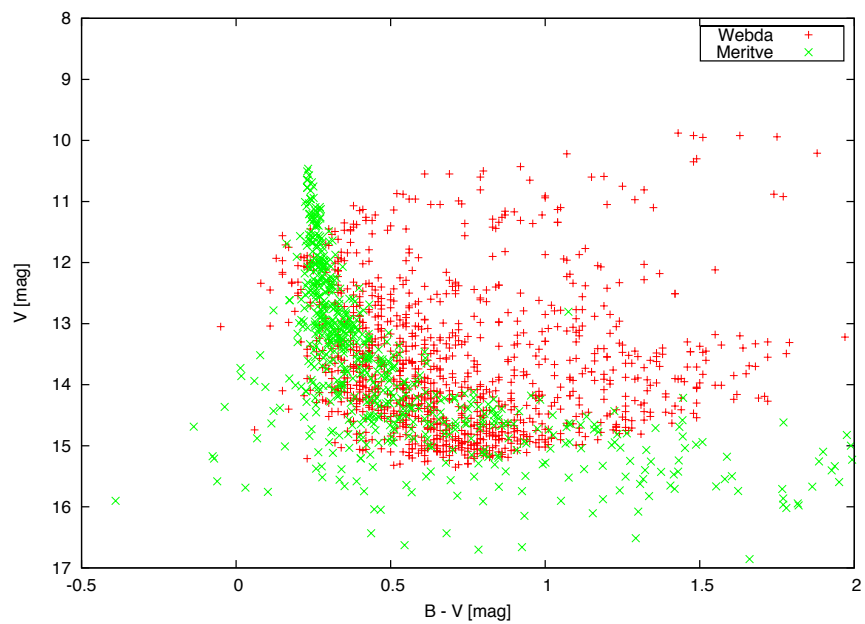


Slika 6: Nekalibriran HR diagram kopice NGC 6811.





Slika 7: Kalibriran HR diagram kopice NGC 6811.

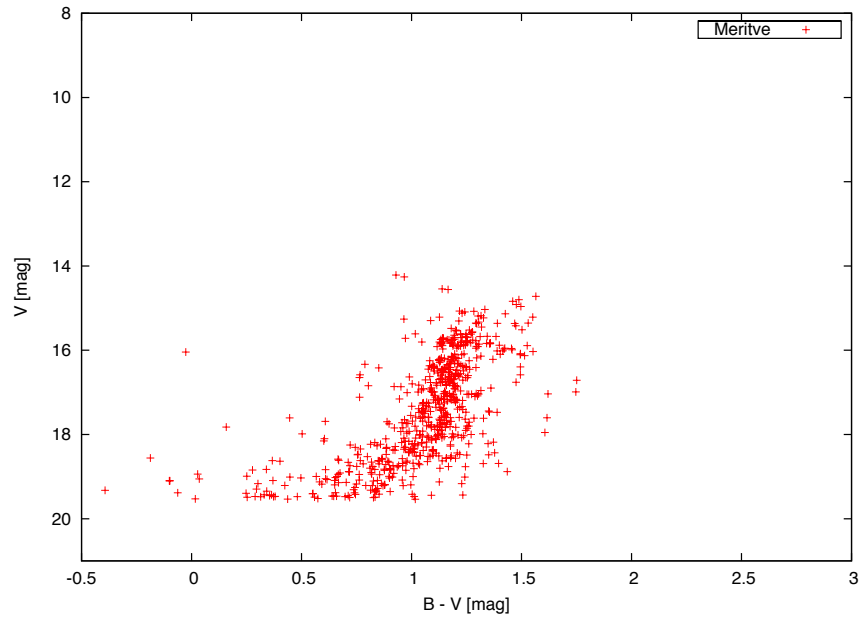


Slika 8: Kalibriran HR diagram kopice NGC 6811, z HR diagramom iste kopice iz podatkov arhiva Webda.

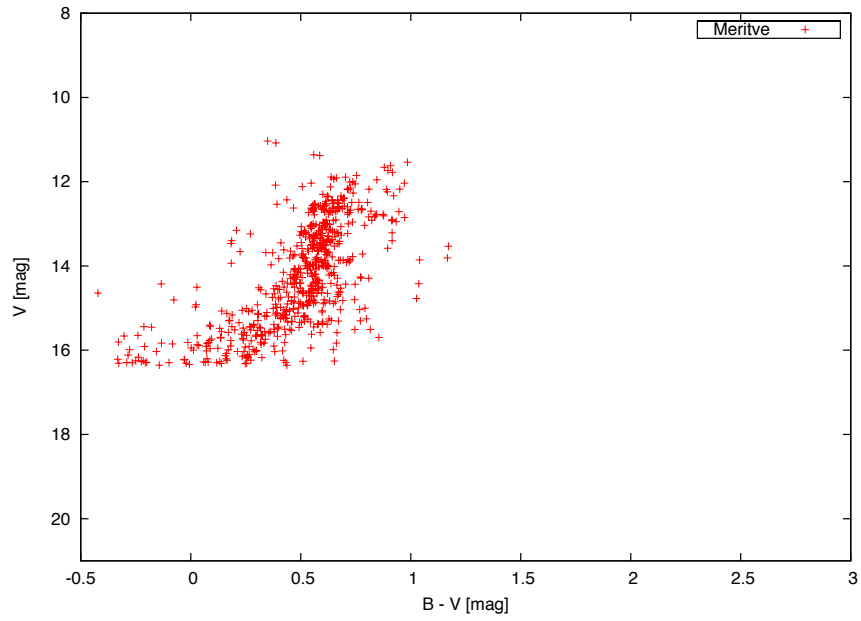
## 4.2 M67

Isto kot pri kopici NGC 6811, rezultate predstavljamo še za M67. Pri tem HR diagramu se lepo vidi koleno (turn-off point). Kalibracijski konstanti za M67 pa znašata:

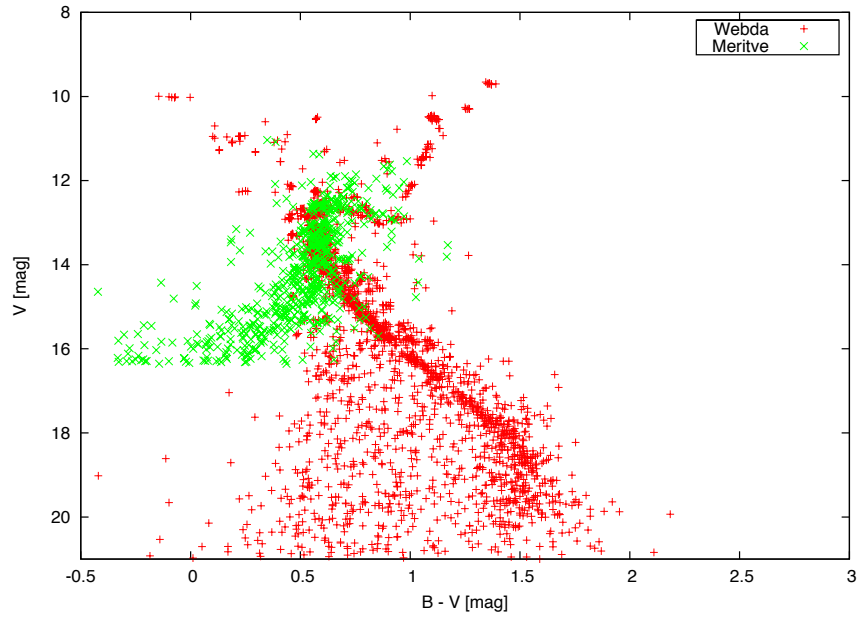
- $V: 3.18 \pm 0.02$
- $B-V: 0.58 \pm 0.02$



Slika 9: Nekalibriran HR diagram kopice M67.



Slika 10: Kalibriran HR diagram kopice M67.



Slika 11: Kalibriran HR diagram kopice M67, z HR diagramom iste kopice iz podatkov arhiva Webda.

## 5 Zaključek

Namen projekta je bil izdelava HR diagrama iz zajetih fotografij in določitev kalibracijske konstante. Do rezultatov smo prišli, vendar je potrebno sedaj na vso zadevo še kritično pogledati. Menimo da so bili podatki zajeti na dovolj dober način, obdelava je bila izvedena na programski opremi, ki jo koristijo vsi priznani observatoriji in astronomi. Veliko manevskega prostora je še pri obdelavi posnetkov, ampak glede na prvo spoznavanje s tako kompleksnim programskim orodjem kot je IRAF, so rezultati pričakovani. Tukaj se moramo še precej naučiti, kaj je pri takšnih obdelavah pomembno in kaj ne, na kaj je potrebno paziti in podobno. Naša HR diagrama se ne ujemata popolnoma s HR diagrami posnetimi na profesionalnih observatorijih, predvsem je opazno pomanjkanje zvezd "nad" glavno vejo (orjakinje, nadorjakinje), ki prispevajo značilno koleno. Prav tako izgleda, da naš detektor ni zaznal šibkih zvezd glavne veje.

HR diagram prve kopice je, kot se vidi na grafu, izpadel dokaj "grd", če lahko temu tako rečemo. Ugotavljamo da se razlog skriva v kar precej slabih vhodnih podatkih, se pravi slikah. Smo pa kljub temu iz tega iztislili največ, kar je bilo možno, isto seveda velja tudi za HR diagram M67. Če pogledamo kateri predeli nam nekako manjkajo, opazimo da smo predvsem pri kopici NGC 6811 izgubili svetlejšo in hladnejšo zvezde, se pravi tiste, ki se nahajajo proti rdečim orjakinjam. Težje je na tem HR diagramu razpoznati glavno vejo. Pri kopici M67 pa je zelo dobro vidno koleno (turn-off point), kjer se zvezde začnejo seliti proti rdečim orjakinjam, vendar smo tukaj izgubili kar precejšen del glavne veje, tisto kar pa smo dobili, pa ima dokaj veliko napako, saj smo imeli kar nekaj problemov z določanjem magnitud temnejših zvezd. Kot se vidi, to za svetlejšo zvezde niti ni bil velik problem.

Za še boljše HR diagrame se bi lahko omejili na manjša področja in jih temeljiteje zajeli, da bi dobili na posnetke večino zvezd, tudi z različnimi ekspozicijami (kar smo v manjšem delu že naredili tokrat), ter se seveda poglobili v drobovje IRAF-a.

## Literatura

- [1] Bradly W. Carrol, Dale A. Ostlie: An Introduction to Modern Astrophysics, 1996
- [2] Marc Kutner: Astronomy, A physical perspective, 2006
- [3] [http://en.wikipedia.org/wiki/Hertzprung–Russell\\_diagram](http://en.wikipedia.org/wiki/Hertzprung–Russell_diagram), pridobljeno dne, 10. 9. 2011
- [4] <http://www.univie.ac.at/webda/>, pridobljeno, dne 8.9.2011
- [5] <http://astro.ago.uni-lj.si/index.html/>, pridobljeno dne 8.9.2011