

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



Fotometrija s Programom IRAF

Domača naloga pri predmetu Astronomija I

Avtor: Marko Urbanč
Mentor: asist. Samo Ilc

12.12.2020

1 Uvod

S pomočjo programa IRAF sem iz podanih slik kopic M67 in M48 narisal HR-diagrame. Program IRAF je priročen, ker že ima pripravljene metode, ki iz seznama koordinat zvezd na sliki izračuna magnitudo zvezd. Ima tudi orodje, ki je namenjeno iskanju zvezd na danem posnetku, kar je zelo koristno pri slikah kopic, kjer je zanimivih zvezd lahko tudi več sto. Svetlost zvezde določimo preko aperturne fotometrije, kjer zmerimo količino signala znotraj radija okoli neke zvezde. Preko znane magnitude t.i. standardne zvezde lahko to svetlost pretvorimo v magnitudo. Iz izmerjenih magnitud v dveh različnih barvnih filterih lahko narišemo HR-Diagram.

Podatke o primerjalnih zvezdah in kopicah sem dobil iz spletnega arhiva SIMBAD [1]. Kotno velikost M67 sem dobil iz spletne strani Messier M67 [2]. Kotno velikost M48 pa iz spletne strani Messier M48 [3].

Razdalja do M67 (SIMBAD): 883.00 pc

Paralaksa M67 (SIMBAD): 1.1325 mas

Koordinate središča M67 (SIMBAD): $\alpha = 132.82^\circ$ $\delta = 11.8^\circ$

Kotna velikost M67(Messier): 30.0 arcmin

Razdalja do M48 (SIMBAD): 775.37 pc

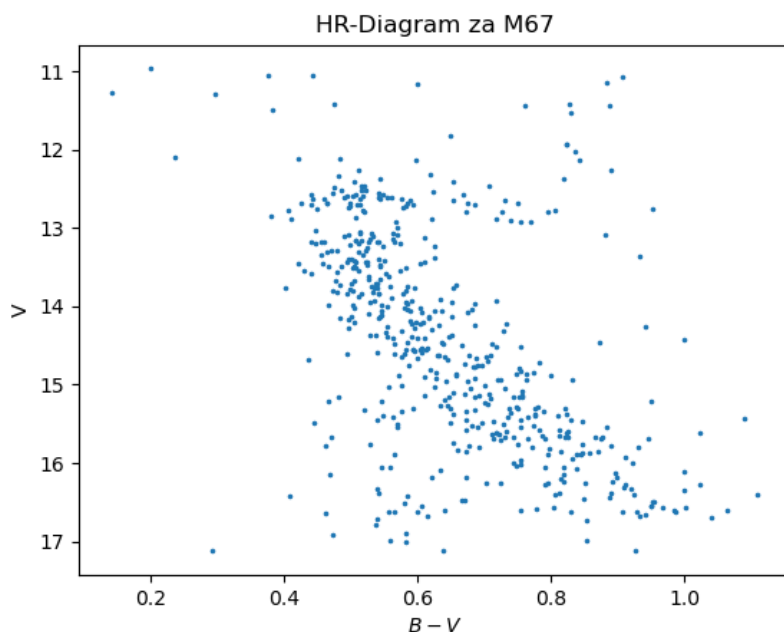
Paralaksa M48 (SIMBAD): 1.2897 mas

Koordinate središča M48 (SIMBAD): $\alpha = 123.43^\circ$ $\delta = -5.75^\circ$

Kotna velikost M48 (Messier): 54.0 arcmin

2 Grob HR-diagram

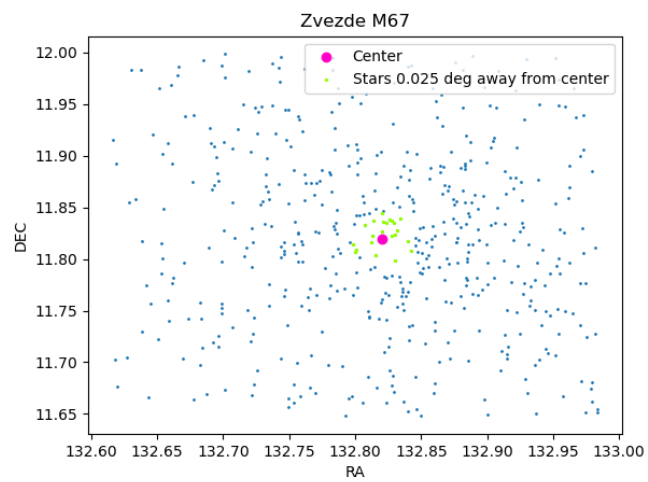
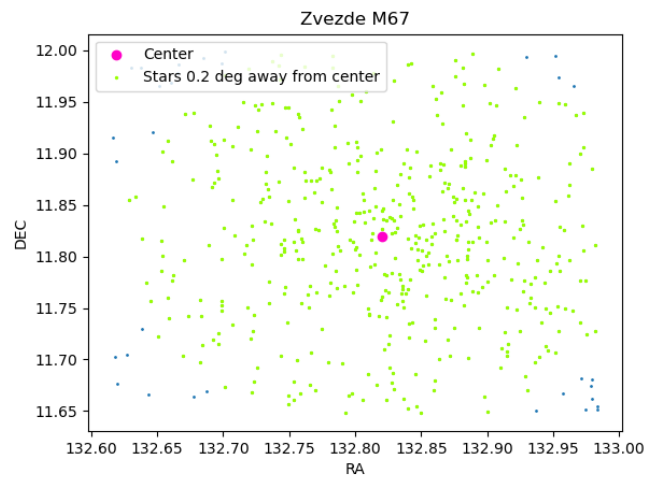
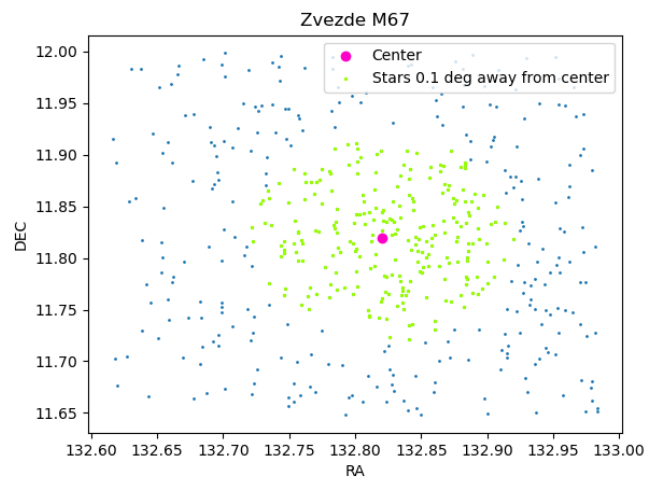
Še enkrat sem šel skozi postopek obdelave posnetkov M67 po skripti iz laboratorijskih vaj predmeta, ker se mi je, ko sem probal spremljati v živo, tik pred koncem nekaj zalomilo. Po postopku sem dobil grob HR-diagram za kopico M67 [Slika 1]. Za standardno zvezdo sem vzel zvezdo **NGC 2682 153**.



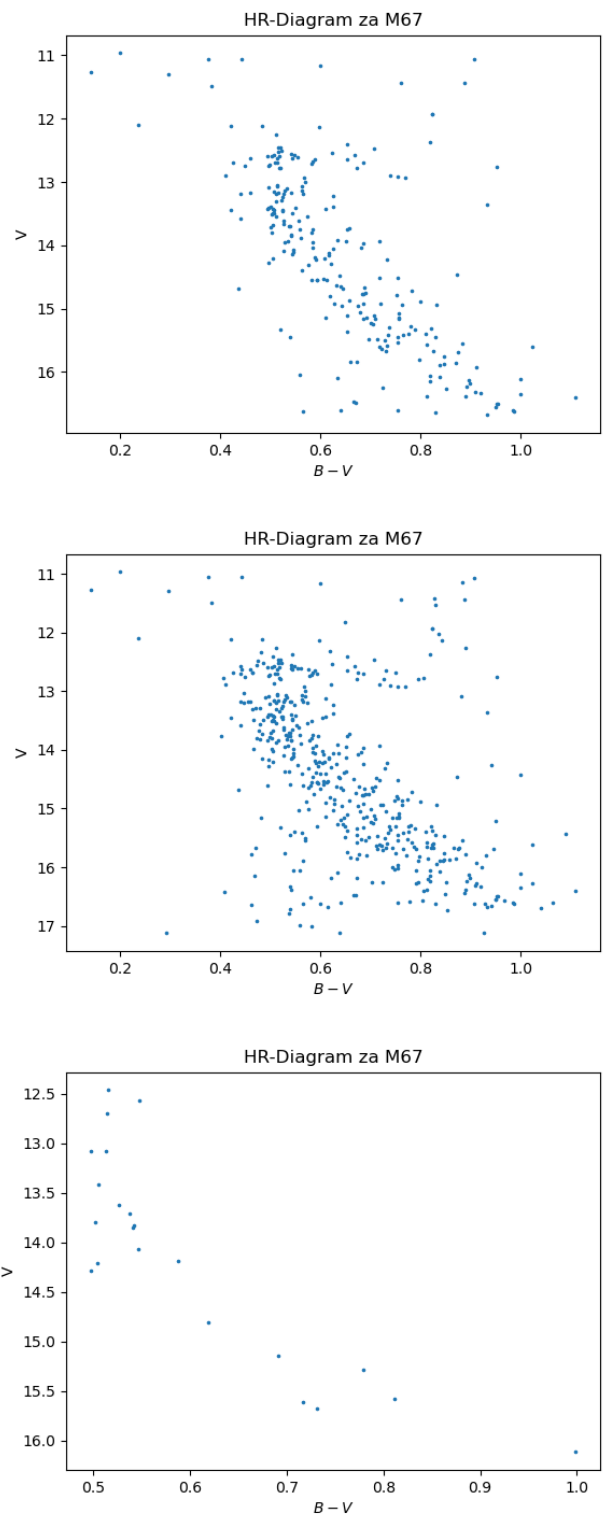
Slika 1: Grob HR-Diagram za M67

3 Odstranjevanje nepripadnih zvezd

Očitno je, da dobljeni HR-diagram vsebuje tudi zvezde, ki ne pripadajo kopici M67. Središče kopice sem določil preko povprečenja koordinat vseh zvezd s funkcijo, ki sem jo napisal v Pythonu. Dobljene koordinate se popolnoma ujemajo z koordinatami, ki sem jih prebral iz arhiva SIMBAD. Prav tako v Pythonu, sem napisal funkcijo, ki postavi krog v poljubno točko na sliki in zajame vse zvezde in njihove podatke znotraj kroga. Nabore zvezd sem si želel predstavljati, zato sem narisal grafe koordinat zvezd in obarval tiste, ki so bile znotraj kroga, kjer sem središče kroga postavil v središče kopice [Slike 2]. Iz nabora zvezd sem narisal še HR-diagrame za različne radije kroga [Slike 3]. Radij kroga sem podajal v stopinjah, čeprav bi koda delovala enako tudi za slikovne piksele.



Slika 2: Grafi zvezd kopice M67 pri različnih radijih kroga iz središča



Slika 3: HR-diagrami kopice M67 pri različnih radijih kroga iz središča

Določene koordinate središča M67: $\alpha = 132.821^\circ$ $\delta = 11.8^\circ$

Radij središča kopice M67: 6 arcmin

Iz slik je razvidno, da je radij središča kopice okoli 0.1° saj takrat zajamem skoraj vse zvezde, ki so zgoščene okoli središča kopice. Če vzamem manjši radij kroga, zajamem le majhno število zvezd, ki se nahajajo neposredno blizu središča kopice. Zanimivo je, da so te zvezde večinoma bolj vroče in bolj modrikaste kot preostale zvezde v kopici, torej z barvnim indeksom $B - V$ med 0.5 in 0.6, kjer imamo v kopici sicer zvezde z barvnimi indeksi $B - V$ od 0.5 do 1.0. Možen razlog za to, je t.i. masna segregacija, kjer lažje zvezde pridobijo hitrost na račun bolj masivnih zvezd pri bližjih srečanjih, kar povzroči, da so lažje zvezde na večji povprečni oddaljenosti od središča kopice. Za zvezde, ki so ostale, lahko preko barvnega indeksa izračunam oceno temperature preko Ballesterosove formule [4] [Formula 1], ki znaša okoli 6500 K.

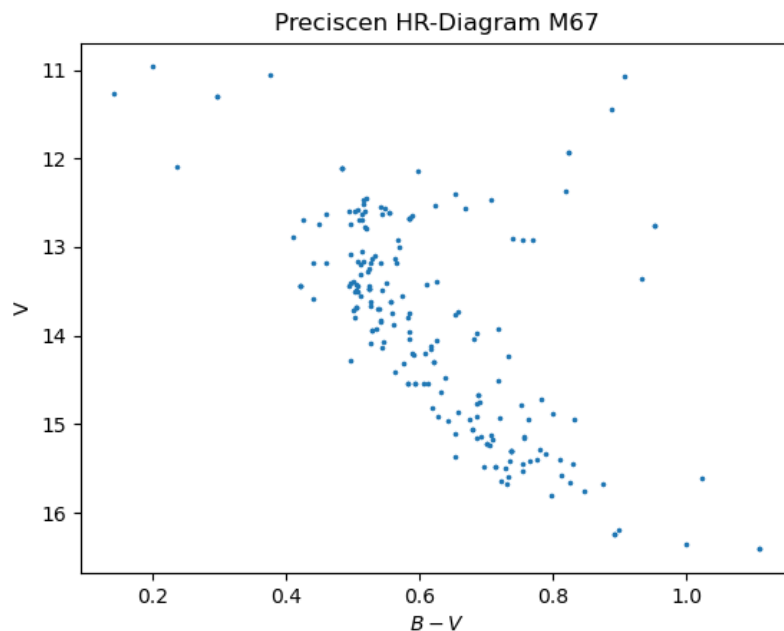
$$T = 6400K \left(\frac{1}{0.92(B - V) + 1.7} + \frac{1}{0.92(B - V) + 0.62} \right) \quad (1)$$

Iz temperature bi lahko sklepal, da gre za zvezde tipa F. Ta rezultat se zdi ustrezen, saj je kopica M67 stara in naj ne bi imela na glavni veji zvezd "modrejših" od tipa F, ker je, z izjemo nekaj Blue Straggler zvezd, večina bolj vročih zvezd že zapustila glavno vejo [2]. Če pa vzamem prevelik radij, pa dobim podoben, torej neprečiščen, HR-diagram, kot smo ga narisali že na vajah. Zajamemo namreč skoraj vse zvezde.

4 Izločevanje zvezd pred ali za kopico

Z podatki v prečiščenem seznamu zvezd, ki jih je pridobil vesoljski teleskop Gaia (dostopni na [arhivu Gaia](#)) sem še dodatno lahko prečistil zvezde. Zvezde znotraj kroga z radijem 0.1° sem izvozil v .csv datoteko in to naložil na strežnik Urania, kjer sem v IRAF uporabil ukaz `tmatch`, da sem preveril ujemanje moje izbire zvezd z Gajinimi. Tako sem dobil tabelo zvezd, ki skoraj zagotovo pripadajo kopici M67.

Dobljeno datoteko sem zopet vrnil v Python, kjer znova narisal HR-diagram prečiščen seznam zvezd [Slika 4]. Izginil je "šum" nepripadnih zvezd in oblika HR-diagrama je bolj razvidna.



Slika 4: Prečiščen HR-diagram

5 Velikost M67 in gostota zvezd v njej

Za svojo izmerjeno kotno velikost (jedra) kopice, sem vzel radij kroga, s katerim sem poskusil prefiltrirati nepripadne zvezde. Za oddaljenost do kopice sem vzel oddaljenost do standardne zvezde **NGC 2682 153**. Čeprav gre za razsuto kopico sem njeno obliko privzel kot kroglo. Radij kopice sem preračunal iz kotne velikosti in oddaljenosti po zvezi $x = d \tan \alpha$. Dobljeni rezultat je manjši kot sem pričakoval. Skleпам da je vzrok za to ta, da sem preko svoje meritve z krogom zajel samo jedro kopice. Z upoštevanjem kotne velikosti omenjene v uvodu, dobim bolj točen rezultat za velikost cele kopice.

Razdalja do NGC 2682 153 (SIMBAD): 856.47 pc

Izmerjena kotna velikost (središče): 12 arcmin

Radij kopice iz izmerjene kotne velikosti: 1.495 pc

Radij kopice iz Messierve kotne velikosti: 3.731 pc

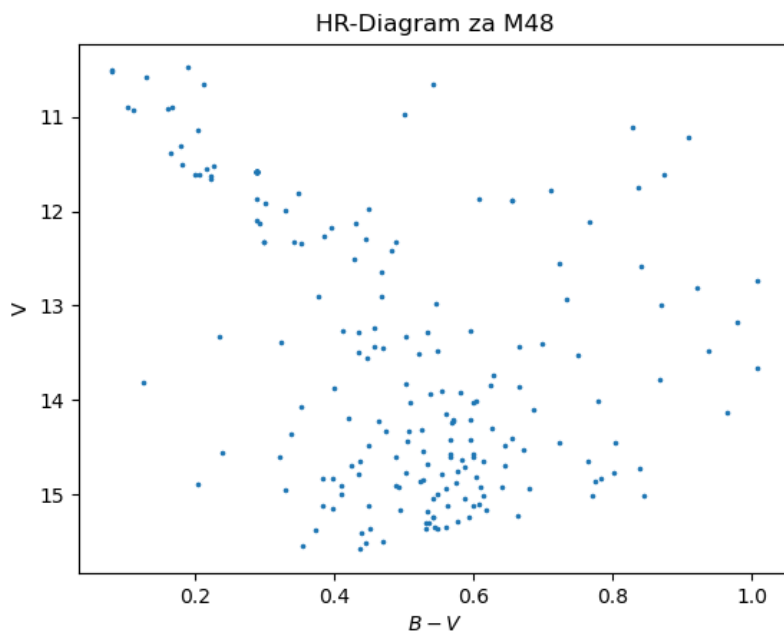
Z privzetkom, da je kopica kroglaste oblike, sem izračunal njen volumen in iz končne prečiščene datoteke za HR-diagram preštel število zvezd. Gostoto zvezd sem izračunal po zvezi $\rho = \frac{n}{V}$, kjer je n število zvezd in V volumen kopice.

Gostota zvezd v (središču) M67: 14.58 pc^{-3}

Gostota zvezd v središču M67 je veliko večja kot gostota zvezd v okolici našega sonca, kjer je gostota okoli 0.14 pc^{-3} [5]. V primerjavi z gostoto zvezd v središih kroglastih kopic pa je zelo majhna. Gostote zvezd v jedrih kroglastih kopic so med 100 do tudi 1000 pc^{-3} [6]. Rezultat se zdi smislen saj je M67 razsuta kopica, kar pomeni, da ni tako gosta kot kroglasta.

6 Grob HR-Diagram M48

Slike kopice M48 sem dobil že popravljene za bias, flat in dark. Obdelavo slik sem dokončal po identičnem postopku kot pri kopici M67 s pomočjo programa IRAF. Za primerjalno zvezdo sem izbral **NGC 2548 1362**. Podatke o primerjalni zvezdi sem pravtako kot pri M67 prebral iz spletnega arhiva SIMBAD. Tako sem narisal grobi HR-diagram [Slika 5].

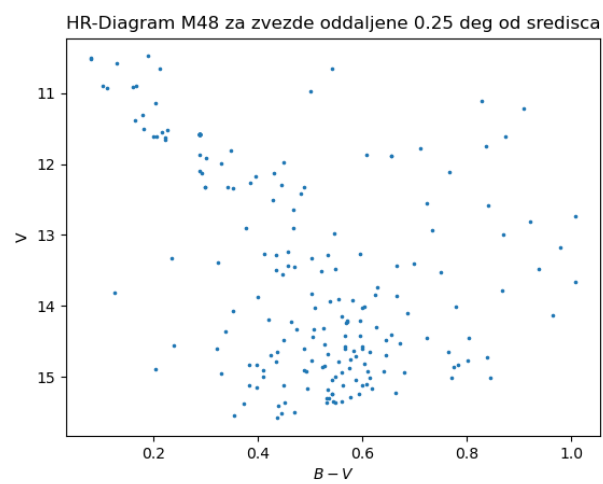
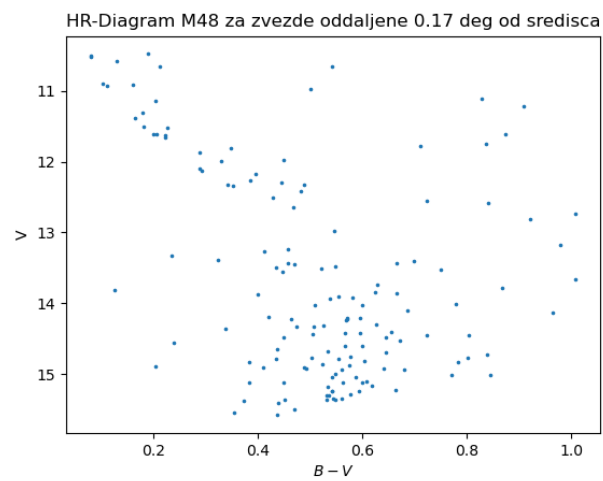
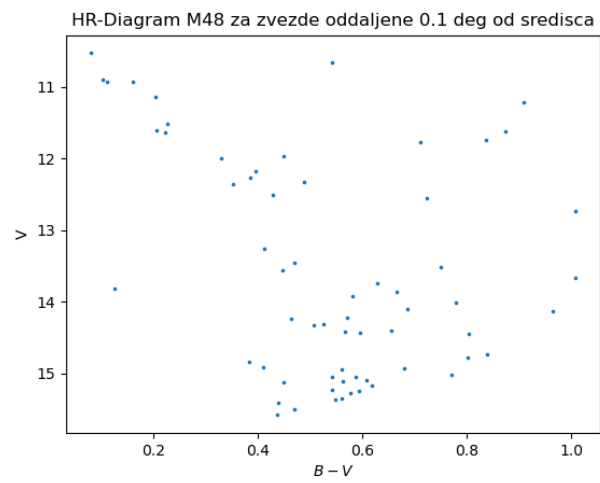


Slika 5: Grob HR-diagram M48

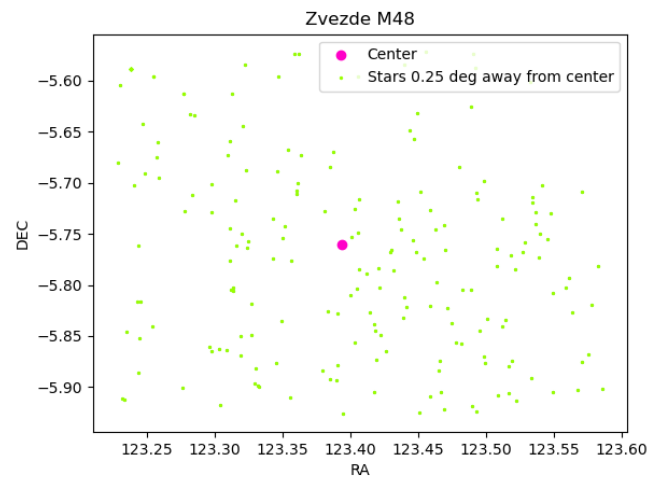
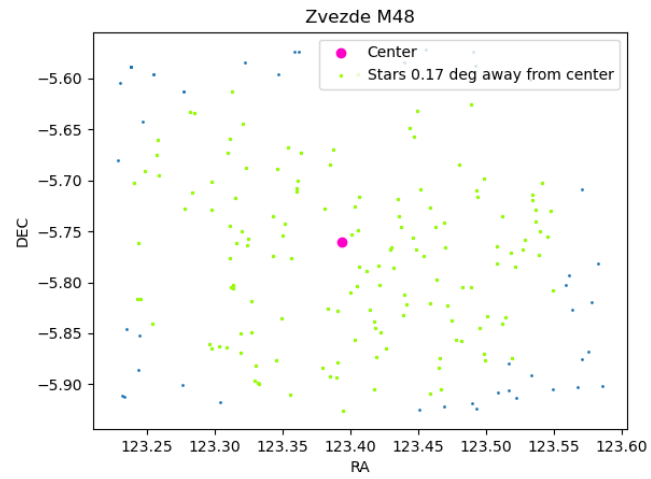
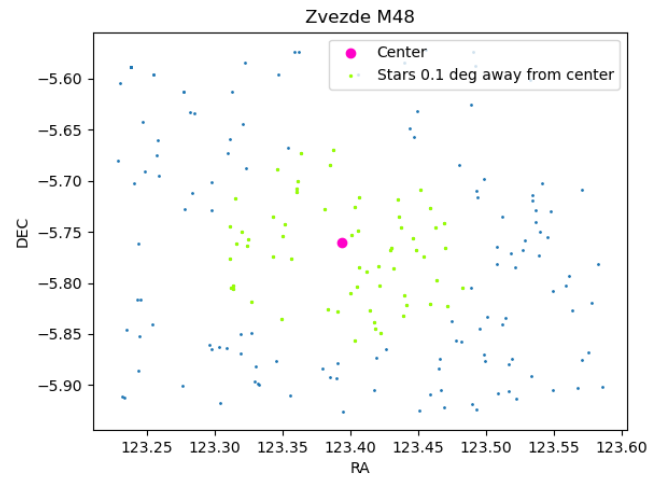
7 Izboljšava HR-Diagrama M48

Grob HR-diagram M48 sem prav kot pri M67 poskusil očistiti nepripadnih zvezd z risanjem krožnice v središču kopice, ki se zopet dobro ujema z središčem, ki ga določim z povprečenjem koordinat. Za razliko od obdelave M67 sem imel pri M48 težavo, saj kopica deluje tako razsuta, da sem težko določil smislen radij krožnice. Zvezde zgledata na prvi pogled precej enakomerno razporejene

po sliki. Poskusil sem zajeti območje zvezd, ki se mi je zdelo, da je gostejše od robov slike. Radij kroga, ki se je najbolj prilegal je 0.17° , vendar naj bi bila kopica veliko večja tako da sklepam, da sem s takim radijem, kot pri M67, zajel le središče. Tako kot prej sem narisal HR-diagrame in grafe koordinat zvezd za različne radije krožnice[Slika 6 in 7].



Slika 6: Grafi zvezd kopice M48 pri različnih radijih kroga iz središča



Slika 7: HR-diagrami kopice M48 pri različnih radijih kroga iz središča

Določene koordinate središča M48: $\alpha = 123.39^\circ$ $\delta = -5.76^\circ$

Radij središča kopice M48: 10.2 arcmin

Iz grafov je očitno, da je krog z radijem 0.1° že bistveno premajhen, saj na HR-diagramu ostane le malo zvezd. Zanimivo je, da spet izginejo predvsem lažje zvezde oz. tiste, ki so malo pod glavno vejo. Sumim, da bi bila masna segregacija, podobna kot pri M67, dobra razlaga za ta pojav.

8 Velikost M48 in gostota zvezd v njej

Po enakem postopku, ki je opisan pri izračunu velikosti M67, sem izračunal tudi velikost M48.

Razdalja do NGC 2548 1362 (SIMBAD): 775.37 pc

Izmerjena kotna velikost (središče): 20.4 arcmin

Radij kopice iz izmerjene kotne velikosti: 2.300 pc

Radij kopice iz Messiereve kotne velikosti: 6.090 pc

Kot pri M67, sem izračunal (središčno) gostoto M48.

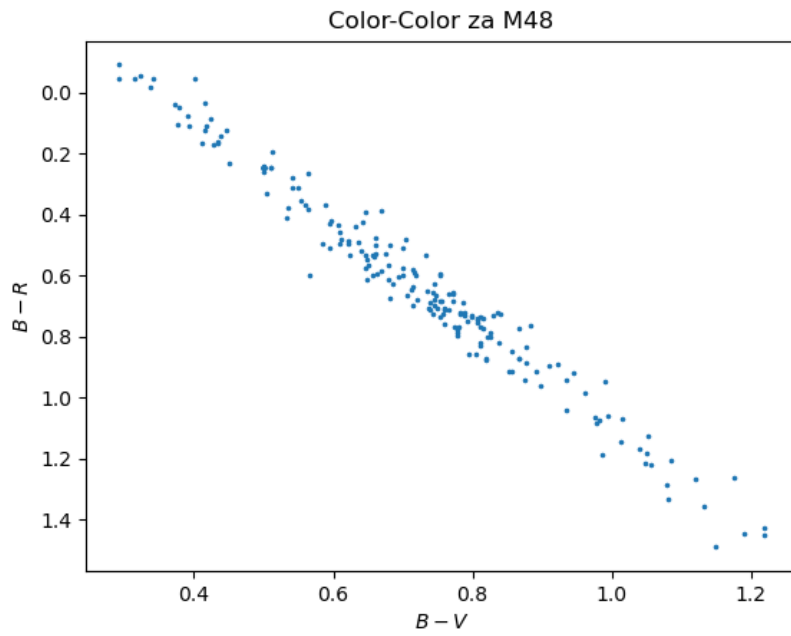
Gostota zvezd v (središču) M67: 4.02 pc^{-3}

Rezultat se mi zdi smiselen, če ga primerjam s kopico M67. Kopica M67 naj bi imela okoli 500 zvezd, M48, ki je od nje večja, pa le 165 [7]. Tudi pri risanju kroga za izločevanje nepripadnih zvezd, je bilo težko določiti območje zgojitve. Tako kot pri M67 je središčna gostota zvezd M48 bistveno manjša od gostote zvezd v jedru kroglaste kopice.

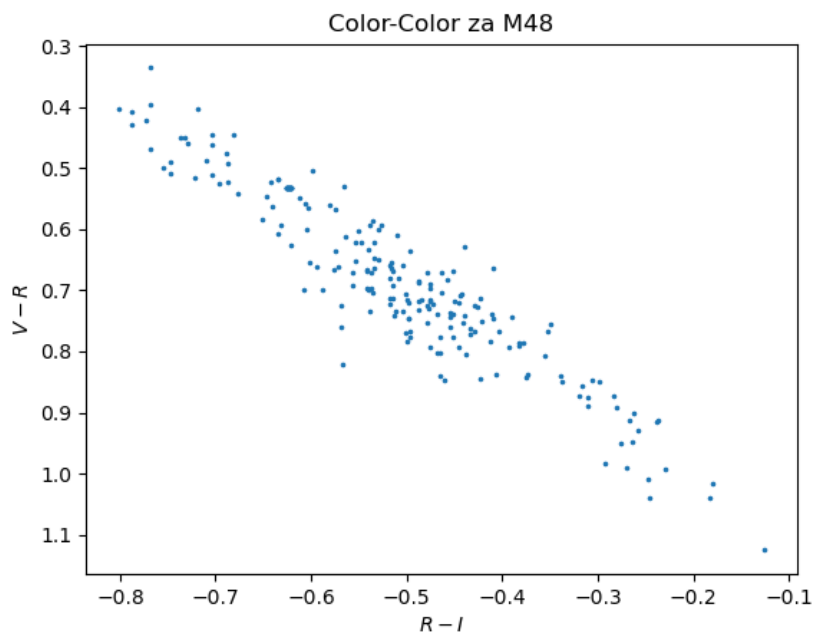
9 Color-Color Diagram

Preko color-color diagramov, kjer narisemo odvisnost enega barvnega indeksa od drugega, lahko primerjamo navidezne magnitude zvezd pri različnih valovnih dolžinah. Podobno kot pri HR-diagramu, bojo tudi na color-color diagramu, zvezde različnih spektralnih tipov na različnih delih color-color diagrama. Bolj vroče in modrikaste zvezde se bojo nahajale v zgornjem levem predelu diagrama, bolj rdeče in hladne zvezde pa na spodnjem desnem.

Preden sem se lotil risanja color-color diagramov za M48 sem izmerjene magnitude popravil z standardno zvezdo. Uporabil sem zvezdo **CI* NGC 2548 WTB 422**, ki je edina iz med mojih podatkov, ki ima na spletnem arhivu SIMBAD izmerjeno magnitudo v B, V, R in tudi I filtru. Narisal sem color-color diagrama B-R(B-V) in R-I(V-R) [Slika 8 in 9].



Slika 8: Color-color diagram B-R(B-V)



Slika 9: Color-color diagram V-R(R-I)

Opazim, da je trend grafa kot padajoča premica, ki pa je nekoliko razpršena. Sklepam, da bi razpršenost okoli premice lahko prišla tudi od končne širine filtra. Z takim diagramom lahko preverimo odstopanje zvezde od idealnega črnega telesa. Color-color diagram perfektnega črnega telesa bi bil premica, tako da odstopanje od premice pomeni odstopanje od perfektnega črnega telesa.

Preprosto formulo za izračun temperature sem že omenil v poglavju Odstanje neprirodnih zvezd. To je Ballesterosova formula [Formula 1], kjer lahko ocenimo temperaturo zvezde z barvnim indeksom (B - V). Izmerjena barva zvezde ni enaka dejanski barvi zvezde saj zvezde sevajo, vsaj v dobrem približku, kot črna telesa. Spekter sevanja črnega telesa določa Planckov zakon. Po Wienovem zakonu vemo, da ima spekter sevanja črnega telesa vrh pri različnih temperaturah pri različnih valovnih dolžinah. Torej za višje temperature ima spekter vrh pri manjših valovnih dolžinah. To pa ne pomeni, da telo ne seva v drugih valovnih dolžinah. Razpon dejanskih barv črnega telesa je od rdeče proti beli (kot recimo žareče železo) in na koncu k modri. Posledično zvezda, za katero bi lahko rekli, da je zelena, je dejansko bela (zaradi sevanja v drugih delih spektra) in ima le vrh spektra v zeleni vidni svetlobi. Zvezde pa so lahko za res modre, takrat ko so tako vroče, da imajo vrh spektra prestavljen v ultravijolično svetlobo in zaradi porazdelitve po valovnih dolžinah začne prevladovati modra svetloba nad drugimi deli vidnega spektra.

Dodaten zaplet pri določanju barve zvezde povzroči "izumrtje" (ang. Interstellar extinction), kjer predvsem bolj oddaljeni objekti izgledajo bolj rdeči kot dejansko so. To je posledica absorpcije in raztrosa svetlobe na prahu in plinu na poti od objekta do opazovalca.

Literatura

- [1] M. Wenger, F. Ochsenbein, D. Egret, P. Dubois, F. Bonnarel, S. Borde, F. Genova, G. Jasniewicz, S. Laloë, S. Lesteven, and R. Monier. The SIMBAD astronomical database. The CDS reference database for astronomical objects. , 143:9–22, April 2000.
- [2] Hartmut Frommert Guy McArthur. Messier 67, Dec 2013. [Dostopno na <http://www.messier.seds.org/m/m067.html>; Zadnje obiskano 5.12.2020].
- [3] Hartmut Frommert Guy McArthur. Messier 48, Mar 2009. [Dostopno na <http://www.messier.seds.org/m/m048.html>; Zadnje obiskano 8.12.2020].
- [4] F. J. Ballesteros. New insights into black bodies. *EPL (Europhysics Letters)*, 97(3):34008, Feb 2012.
- [5] Erik Gregersen. *The Milky Way and beyond: stars, nebulae, and other galaxies*. Britannica Educational Pub., 2010.
- [6] Jon Talpur. A guide to globular clusters, 1997. [Dostopno na <https://www.astro.keele.ac.uk/workx/globulars/globulars.html>; Zadnje obiskano 8.12.2020].
- [7] A. Piskunov, S. Röser, E. Schilbach, and R. Scholz. Astrophysical parameters of galactic open clusters. *Astronomy and Astrophysics*, 438, 01 2005.