

Elektrotehnička škola Split

Ante Režić i Josip Svalina

učenici trećeg razreda Elektrotehničke škole Split

mentor: mr.sc. Olivera Pionić, prof.

mail: olivera.pionic@st.t-com.hr

DVOBOJNA VIZUALNA FOTOMETRIJA OTVORENOG SKUPA VLAŠIĆI

Praktični rad za natjecanje iz Astronomije

školska godina 2016./2017.

Split, ožujak. 2017.

SADRŽAJ

Uvod

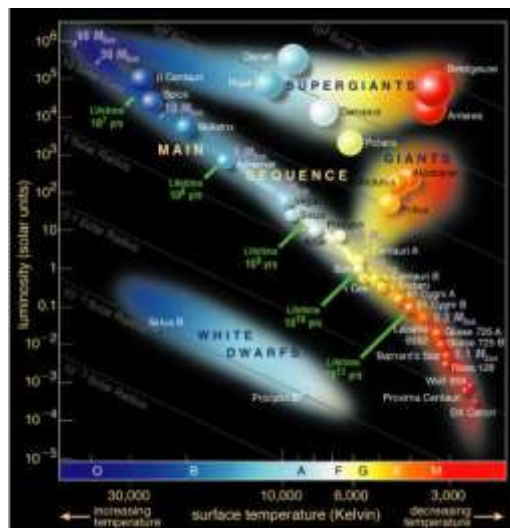
1. Hertzsprung-Russellov dijagram
 - 1.1. Opis Hertzsprung-Russellovog dijagrama
 - 1.2. Fotometrijski oblik Hertzsprung-Russellovog dijagrama
2. Zvezdani skupovi
 - 2.1. Kuglasti zvezdani skupovi
 - 2.2. Galaktički otvoreni skupovi
 - 2.3. Galaktički otvoreni skup Vlašići
 - 2.4. Hertzsprung-Russellov dijagram za zvezdane skupove
3. Vizualna mjerenja sjaja zvijezda u Vlašićima
 - 3.1. Argelanderova metoda mjerenja sjaja zvijezda
 - 3.2. Ocjena sjaja odabranih zvijezda u Vlašićima
 - 3.3. Obrada mjerenja
4. Analiza rezultata
 - 4.1. Procjena udaljenosti i procjena starosti galaktičkog skupa Vlašići
5. Rasprava i zaključak
6. Literatura
7. Prilozi

1. HERTZSPRUNG – RUSSELLOV DIJAGRAM

1.1. Opis Hertzsprung – Russellovog dijagrama

Iz Hertzsprung-Russellovog dijagrama (Slika 1.) jednostavno se uočavaju i očitavaju važna fizička svojstva zvijezda. Hertzsprung Ejnar bio je danski astronom koji je istraživao dvojne i promjenljive zvijezde. On je 1911. godine istaknuo razliku između crvenih divova, superdivova i zvijezda koje su slične Suncu. To je dovelo do tumačenja razvoja zvijezda te do klasifikacije zvijezda prema boji i prema sjaju.

Henry Norris Russell je zajedno s Hertzsprungom razvio H-R dijagram u kojem se zvijezde okupljaju u nizove i otoke. H - R dijagram daje odnose između apsolutnog sjaja te boje ili temperature zvijezde, odnosno to je graf koji daje ovisnost luminoziteta L (apsolutne magnitude M) i površinske temperature zvijezde. Zvijezde se ovisno o masi kroz dijagram kreću različitim putovima. Iz H-R dijagrama mogu se dobiti informacije o različitim tipovima zvijezda te se može vršiti teorijsko predviđanje evolucije zvijezda. Pomoću H-R dijagrama moguće je odrediti udaljenost skupova zvijezda a izradom H-R dijagrama za pojedini skup zvijezda moguće je odrediti njegovu starost.



Slika 1. Hertzsprung-Russellov dijagram

Dakle, temeljni parametri koji opisuju zvijezde, pored njihovog kemijskog sastava, jesu njihova masa, površinska temperatura (koja ovisi o spektralnom tipu zvijezda) i polumjer. Ti su parametri međusobno povezani. Tako se može napraviti dijagram ovisnosti apsolutne zvjezdane veličine (koja predstavlja pravi sjaj zvijezde) i spektralnog tipa (koji daje informaciju o površinskoj temperaturi). Na os ordinata uvrštavamo apsolutne zvjezdane veličine, a na os apscisa spektralni tip zvijezda odnosno njihovu površinsku temperaturu. Takav H-R dijagram prikazan je na slici 1.

Glavni niz H-R dijagrama (uska pruga koja se proteže od gornjeg lijevog kuta do donjeg desnog kuta) je područje u kojem se nalazi najveći broj zvijezda. U tom se području nalaze tek formirane zvijezde koje zrače jednoliko i koje su nakon formiranja došle u stadij u kojem

gori vodik u jezgri. U glavnom nizu, zvijezde se tijekom svog razvoja, najdulje zadržavaju. Nazivamo ih patuljcima a naše Sunce je također zvijezda glavnog niza.

Modri divovi su smješteni u gornjem dijelu glavnog niza dok se crveni patuljci nalaze na donjem dijelu. Najveći broj zvijezda u Svemiru su upravo crveni patuljci. Te zvijezde troše gorivo znatno sporije od ostalih zvijezda. Kada zvijezda na glavnom nizu iscrpi zalihe vodika u jezgri započinje pretvorba helija u teže elemente. Zvijezda napušta svoj položaj na glavnom nizu i kreće prema desno. Zvijezde povećavaju svoj polumjer i tada ih nazivamo divovima i superdivovima.

Općenito, zvijezde na gornjem lijevom dijelu glavnog niza imaju veće mase i veće polumjere od zvijezda na donjem desnom dijelu. Zvijezde veće mase daleko se brže razvijaju od zvijezda manje mase jer su im temperature u središtima iznimno visoke što ubrzava nuklearnu reakciju pa se vodik u jezgrama brzo istroši. Formula koja daje vrijeme boravka zvijezda u glavnom nizu glasi

$$t(u \text{ godinama}) = \frac{10^{10}}{m_z^{-2,8}}, \quad (1)$$

gdje je masa zvijezde izražena u masama Sunca.

Crveni divovi i crveni superdivovi nalaze se u gornjem desnom dijelu dijagrama. Imaju male gustoće i rijetke atmosfere a tvar gube u obliku snažnog zvjezdanog vjetra.

Bijeli patuljci se nalaze u lijevom donjem dijelu dijagrama. Imaju mali promjer, slabo zračenje i efektivnu temperaturu od 10 000 K.

Budući je svakoj točki H-R dijagrama pridružen luminozitet (L) i temperatura (T) uz pomoć Štefan-Boltzmanovog zakona može odrediti i polumjer zvijezde. Štefan-Boltzmanov zakon kaže da je luminozitet (tj. snaga zračenja) proporcionalan površini tijela koje zrači i četvrtoj potenciji temperature tijela koje zrači, odnosno vrijedi

$$L = \sigma ST^4, \quad (2)$$

gdje je $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ Štefan-Boltzmanova konstanta.

U dijagramu se također nalaze i luminozitetni razredi koji se imenuju po dimenzijama zvijezda koje zastupaju.

Pomoću H-R dijagrama može se odrediti apsolutna magnituda, tj. udaljenost zvijezda. Ova je metoda posebno korisna za određivanje udaljenosti skupova zvijezda. Zvijezde promatranog skupa dat će oblik krivulje glavnog niza. U H-R dijagramu nalaze se i promjenljive zvijezde (RR Lyrae, Cefeide, i promjenljive zvijezde dugih perioda).

Mnogi crveni divovi su promjenljive zvijezde a RR Lyrae i Cefeide nalaze se u područjima H-R dijagrama gdje nedostaju druge vrste zvijezda.

Kao što je već naznačeno, H-R dijagram služi i za analizu razvoja zvijezda. Kako se zvijezde mijenjaju mijenja se i njihov položaj u H-R dijagramu. Većinu svog života zvijezde provode na glavnom nizu izgarajući vodik. Kad jezgra potroši zalihi vodika u jezgri ne može se

više održati ravnoteža tlaka plina i gravitacijskog sažimanja. Jezgra se počinje sažimati a u okolnoj ljusci započinje fuzija vodika. U samoj jezgri, radi porasta tlaka i temperature započinje fuzija jezgri helija u teže elemente. Ciklus se ponavlja i zvijezda u toj fazi života postaje crveni div te se smješta u gornji desni dio dijagrama. Kako se u zvijezdi više ne mogu održati fuzijski procesi ona se počinje sažimati uz povećanje temperature jezgre. Zvijezda odbacuje vanjske slojeve i od njihovih ostataka stvara se planetarna maglica. Nastala zvijezda je mala i vruća pa je zovemo bijelim patuljkom. To je kraj života zvijezde koja je slična našem Suncu. Zvijezde veće mase završavaju svoj razvoj eksplozijom kao supernova zvijezda. Ostatak tih zvijezda su neutronske zvijezde.

Sunce je spektralnog tipa G2 i ima površinsku temperaturu otprilike 6000 K. Na glavnom se nizu nalazi već 5 milijardi godina. Približno će još toliko vremena provesti na glavnom nizu bez promjene polumjera.

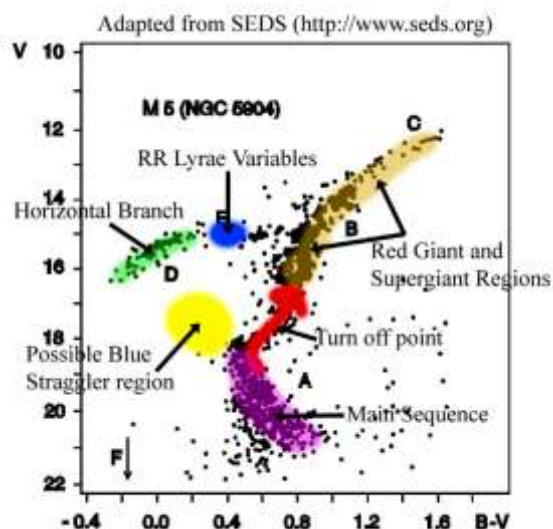
H-R dijagram nije pogodan za opis neutronske zvijezde ali se u njemu ističu i neke posebne zvijezde. Najviše temperature imaju zvijezde u središtima planetarnih maglica i Wolf-Rayetove zvijezde.

Najbrojnije zvijezde u H-R dijagramu su zvijezde glavnog niza i bijeli patuljci.

Položaj zvijezda u H-R dijagramu, tj. spektralni razred kojem pripadaju pokazatelj je brzine rotacije pojedinih zvijezda. Pokazuje se da zvijezde viših temperatura imaju bržu rotaciju dok zvijezde vrlo brzih vrtnji izbacuju tvar u ekvatorskom području u obliku prstenova.

1.2. Fotometrijski H-R dijagram

Hertzsprung – Russellov dijagram ima i nekoliko alternativnih prikaza koji astrofizičarima omogućuju točnije definiranje temeljnih parametara zvijezda. Takav dijagram je fotometrijski H-R dijagram. Primjer fotometrijskog H-R dijagrama za kuglasti skup M 5 dan je na slici 2. Mjerenje sjaja zvijezda pomoću modernih fotometara (fotoelektričnih, CCD fotometara) omogućuje dobivanje vrlo korisnih podataka o nekim fizikalnim parametrima zvijezda. Posebno je korisna fotometrija koja se provodi u različitim spektralnim područjima uz upotrebu raznih filtara (višebojna zvjezdana fotometrija). Prostim se okom može kod sjajnijih zvijezda primijetiti da se one razlikuju po boji. Zvijezde mogu biti bijele, plavičaste (Sirijus), žute (Kapela) ili crvene (Arktur). Boja zvijezda ovisi i njihovoj površinskoj temperaturi (bijele zvijezde imaju temperature nekoliko desetaka tisuća stupnjeva i zrače najviše u ljubičastom i ultraljubičastom dijelu spektra dok crvene zvijezde imaju temperature od par tisuća stupnjeva i zrače najviše u crvenom dijelu spektra).



Slika 2. Primjer fotometrijskog H-R dijagrama

Ako napravimo mjerenja sjaja zvijezda kroz nekoliko raznih filtara koji propuštaju svjetlost samo u strogo određenim dijelovima spektra zračenja (na određenim valnim duljinama) možemo iz tih mjerenja dobiti informaciju o površinskoj temperaturi.

Mjerenjem sa Zemlje mogu se dobiti samo prividni sjajevi tj. prividne zvjezdane veličine. Te prividne zvjezdane veličine ne odgovaraju pravom sjaju zvijezda jer one ovise također i o udaljenosti zvijezda. Ako poznamo udaljenost zvijezda možemo izračunati pravu zvjezdanu veličinu koju nazivamo apsolutnom zvjezdanom veličinom.

Apsolutna zvjezdana veličina definira se kao prividna zvjezdana veličina koju bi imala zvijezda kad bi je promatrali sa udaljenosti od 10 pc i ona se uvrštava u H-R dijagram. Formula za izračunavanje apsolutne zvjezdane veličine M iz izmjerene prividne zvjezdane veličine m i poznate udaljenosti r_{pc} u parsecima glasi

$$M = m + 5 - 5 \log r_{pc}. \quad (3)$$

Kad mjerimo sjajeve zvijezda kroz nekoliko filtera dobivamo za svaki filter po jednu prividnu veličinu karakterističnu za taj filter. Na primjer, ako mjerimo sjajeve u trobojnoj UBV fotometriji dobit ćemo vrijednosti za prividne zvjezdane veličine: m_U , m_B i m_V . UBV fotometrijski sustav ili Johnstonov fotometrijski sustav koristi ultraljubičasti filter U, plavi filter B i žuti filter V. V i B filteri koje smo koristili imaju efektivnu valnu duljinu 540 nm i 442 nm.

Vidimo da je filter V po svojim karakteristikama određen tako da najviše odgovara ljudskom oku. Prividne zvjezdane veličine od V filtera preračunavaju se u apsolutne zvjezdane veličine i one se uvrštavaju u H-R dijagram.

Ako promatramo vrlo vruće bijele zvijezde koje najviše zrače u ultraljubičastom i plavom dijelu spektra, one će imati najveći sjaj u U filteru a najmanji u V filteru (zvjezdana veličina U bit će brojčano manja od zvjezdane veličine V jer je ljestvica zvjezdanih veličina „okrenuta“, manji broj znači veći sjaj i obratno).

Imajući na raspolaganju najmanje dvije zvjezdane veličine, na primjer m_B i m_V , moguće je odrediti vrlo korisnu veličinu koju zovemo pokazatelj boje (colour index). Pokazatelj boje je po definiciji razlika zvjezdanih veličina u dva spektralna područja (ili u dva filtra). U slučaju kad imamo zvjezdane veličine m_B i m_V pokazatelj boje p_b (uobičajeno zapisujemo kraće kao $B-V$) je

$$p_b = m_B - m_V = B - V. \quad (4)$$

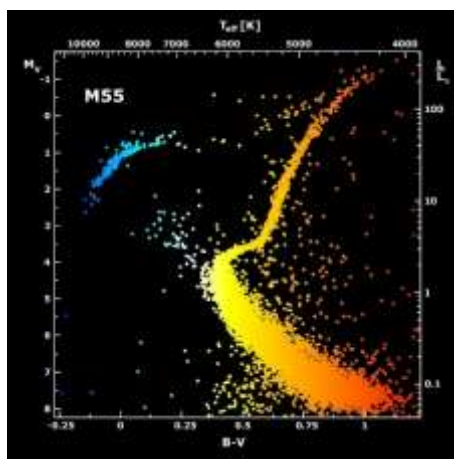
Zvjezdana veličina na većoj valnoj duljini oduzima se od zvjezdane veličine na manjoj valnoj duljini. Slično se može izračunati i pokazatelj boja $U-B$.

Pokazalo se da se pokazatelj boje $B-V$ može jednostavno povezati s površinskom temperaturom zvijezda T . Postoji više relacija koje vezuju te dvije veličine ali većinom se koristi relacija

$$B - V = -0.72 + 7090/T \quad (5)$$

a koja vrijedi za apsolutno crno tijelo.

Ako poznajemo pokazatelje boje $B-V$ i apsolutne zvjezdane veličine M_v većeg broja zvijezda možemo napraviti fotometrijski H-R dijagram ovisnosti apsolutne zvjezdane veličine o $B-V$ (Slika 3). Dobiveni graf vrlo je sličan klasičnom H-R dijagramu. Definiran je glavni niz te područje divova i superdivova. Ovakvi dijagrami se koriste za proučavanje određenih svojstava zvijezda, praćenja razvoja zvijezda, a mogu poslužiti i za procjenu starosti zvjezdanih skupova i mjerenju njihovih udaljenosti od Zemlje.



Slika 3. Fotometrijski dijagram zvjezdanog skupa M55

2. ZVJEZDANI SKUPOVI

2.1. Galaktički otvoreni skupovi

Zvezdani skup je nakupina zvijezda a razlikujemo otvoreni ili galaktički skup, kuglasti skup i zvezdanu asocijaciju. Pojam zvezdano jato koristi se za dvije različite skupine zvijezda koje se nazivaju otvorena zvezdana jata ili kuglasta zvezdana jata. Ljubitelji astronomije ove nebeske objekte (koji nisu zvijezde i ne pripadaju Sunčevom sustavu) zovu maglice.

Otvoreni zvezdani skup (nepravilna nakupina zvijezda) čine mlade zvijezde koje su nastale urušavanjem molekularnog oblaka. Ta fizička povezanost zvijezda u otvorenim skupovima otkrivena je vrlo rano a razvoj spektroskopskih metoda pokazao je da zvijezde u otvorenim skupovima imaju slične radijalne brzine. Otvoreni skupovi sadrže do nekoliko tisuća zvijezda koje su slabo povezane gravitacijom. Iz tog se razloga otvoreni skupovi brzo raspadaju radi interakcije s oblacima plina, prašine i drugih zvijezda. Ovi se skupovi nalaze samo u spiralnim i nepravilnim galaksijama u kojima se odvija proces aktivnog stvaranja zvijezda.

Primjer otvorenog skupa dan je na slici 4. dok slika 5. prikazuje mozaik od trideset otvorenih skupova.



Slika 4. Messier 11



Slika 5. Mozaik od 30 otvorenih skupova

Plejade (Vlašići) također su otvoreni skup (Slika 6). Robert Trumpler je 1930. godine razvio metodu pomoću koje je moguće klasificirati otvorene skupove. Prema toj klasifikaciji Plejade pripadaju tipu I3rn što znači da je to izdvojen i koncentričan skup s velikom razlikom u sjaju zvijezda, s velikim brojem zvijezda i s pripadajućom maglicom.



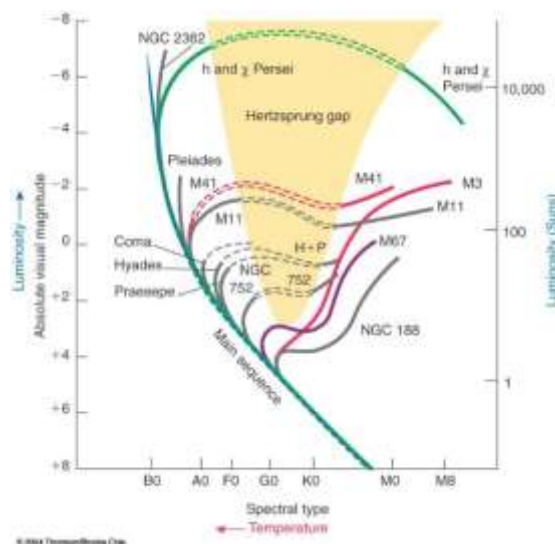
Slika 6. Vlašići

U našoj galaksiji postoji oko 1000 poznatih otvorenih skupova. Otvoreni skupovi su skoncentrirani uz ravninu diska galaktike. U spiralnim galaktikama nalaze se u spiralnim krakovima dok su u nepravilnim galaktikama koncentrirani uz guste oblake prašine i plina. Eliptičke galaktike ne sadrže otvorene skupove.

Otvoreni skupovi se rasprše prije nego zvijezde napreduju u svojoj evoluciji pa u njima dominira svjetlost plavih zvijezda. One su najmlađe i životnog su vijeka oko nekoliko desetaka milijuna godina. Stariji otvoreni skupovi sadrže žute zvijezde.

Otvoreni skupovi su uglavnom nestabilne strukture. Ovisno o veličini mogu trajati od nekoliko milijuna godina za male otvorene skupove pa do nekoliko desetaka milijuna godina za otvorene skupove velikih masa. Nakon raspada otvorenog skupa nakon njega ostaje grupa zvijezda sličnih brzina i smjera gibanja. Takve grupe nazivamo zvjezdane asocijacije, pokretni skupovi ili pokretna grupa. Primjer takve grupe su zvijezde u zviježđu Veliki Medvjed.

Otvoreni skupovi mogu poslužiti i za određivanje udaljenosti. Ako je poznata udaljenost jednog otvorenog skupa moguće je usporedbom H-R dijagrama odrediti udaljenosti ostalih skupova. Primjer H-R dijagrama otvorenih skupova dan je na slici 7.



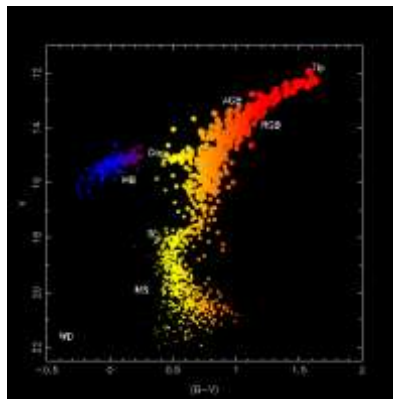
Slika 7. H-R dijagram otvorenog skupa

2.2. Kuglasti zvjezdani skup (globular cluster)

Kuglasti skup je, kako mu i sam naziv sugerira, oblika kugle koja se giba oko središta galaksije kao satelit. Više tisuća milijuna zvijezda u kuglastom skupu čvrsto su povezane gravitacijskom silom i okupljene su u halou spiralnih i eliptičnih galaktika. Harlow Shapley (1914.) prvi je počeo sustavno promatrati kuglaste skupove. Odredio je udaljenost kuglastih skupova a time i posredno odredio udaljenost cefeida. Također je zaključio da se središte Mliječne staze nalazi u zviježđu Strijelca.

Pretpostavlja se da neki kuglasti skupovi u svojim gustim jezgrama sadrže crne rupe ali i druge egzotične objekte poput pulsara.

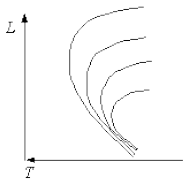
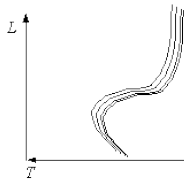
H-R dijagram kuglastih skupova dan je na slici 8.



Slika 8. H – R dijagram kuglastog skupa

Zvijezde se smještaju u dijagram prema apsolutnom sjaju i indeksu boje B-V. B-V indeks boje je razlika u sjaju zvijezde u plavom svjetlu i u vidljivom svjetlu. Prema obliku dobivene krivulje može se odrediti prosječna starost zvijezda u skupu. Prosječna starost kuglastog skupa je 12,7 milijardi godina za razliku od otvorenih skupova koji su stari uglavnom više desetaka milijuna godina. Zvijezde u kuglastim skupovima nastale su približno u isto vrijeme i na jednakoj udaljenosti od nas.

Slika 9. kratko i zorno pokazuje razlike između otvorenih i kuglastih skupova.

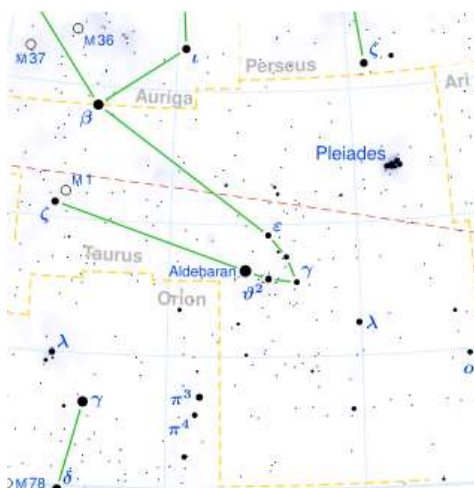
	OPEN (GALACTIC) CLUSTERS	GLOBULAR CLUSTERS
Morphology	Loose, irregular collections of stars	Dense, spherically symmetric distribution of stars
Membership	$\sim 10^2$ stars, plus gas	$\sim 10^5 - 10^6$ stars, no gas
Distribution	restricted to galactic plane	roughly spherical distribution around Milky Way
H-R Diagram	 <ul style="list-style-type: none"> — all show main sequence — wide variety of turn-off points 	 <ul style="list-style-type: none"> — all show short main sequence — all have very similar turn-off points

Slika 9.

Zvezdanu asocijaciju čini grupa gravitacijski slabo vezanih mladih zvijezda koje su nastale iz zajedničkog međuzvezdanog oblaka plina. U zvezdanoj asocijaciji ima deset do sto slabo vezanih zvijezda a nalaze se u spiralnim kracima. Radi različitih orbitalnih brzina razilaze se za nekoliko milijuna godina.

2.3. Galaktički otvoreni skup Vlačići

Plejade (Vlačići, M45) su otvoreni skup u zviježđu Bika (Slika 10).



Slika 10. Zviježđe Bika

Ovaj otvoreni skup sadrži nekoliko tisuća zvijezda (većinom zvijezda B-tipa) i odraznu maglicu. To je jedan od Zemlji najbližih skupova vidljiv golim okom. U Plejadama dominiraju vrlo sjajne i vruće plave zvijezde nastale prije 100 milijuna godina. Predviđa se da će Plejade živjeti još oko 250 milijuna godina, nakon čega će se raspršiti uslijed gravitacijske interakcije s galaktičkim susjedima.

Budući su Vlačići blizu Zemlji njihova se udaljenost može procijeniti koristeći nekoliko

metoda. Npr. izradom H-R dijagrama za Plejade te njegovom usporedbom s H-R dijagramom skupa čija nam je udaljenost poznata moguće je procijeniti udaljenost Plejada. Udaljenost Plejada od Zemlje procijenjena je na 410 gs a protežu se na 120 gs. Masa Plejada iznosi 800 Sunčevih masa dok 25% populacije čine smeđi patuljci.

Starost Plejada također se može procijeniti usporedbom H-R dijagrama Plejada s dijagramima skupova čija je evolucija predviđena teorijskim modelima. Ocjenjuje se da je starost Plejada između 75 i 150 milijuna godina.

Skup se pomiče u smjeru sadašnjeg položaja zvijezda Orion. Proračuni predviđaju da će se skup nakon još 250 milijuna godina raspršiti uslijed gravitacijske interakcije s ogromnim molekularnim oblacima i spiralnim krakima naše galaksije.

U Plejadama golim okom se uočava sedam najsajnijih plavih divova (Slika 11).



Slika 11. Plejade

Prema grčkoj mitologiji te zvijezde predstavljaju sedam kćeri Atlasa i Plejone. Najstarija od tih zvijezda je Alkione (η -Tauri) a najslabijeg sjaja je Merope. Ukupan sjaj Plejada je 1,6. U tablici 1. navedene su najsajnije zvijezde, te njihove providne zvjezdane veličine i spektralni razred. Najsajnije zvijezde u Plejadama okružene su plavičastim maglicama. Te su maglice ostaci plina i prašine iz kojih su zvijezde Plejada nastale.



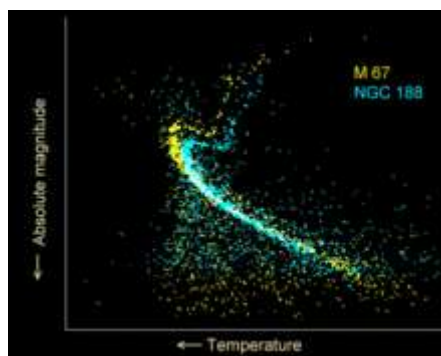
Slika 12. Najsajnije zvijezde u Plejadama

Ime	Oznaka	Prividni sjaj	Spektralni razred
Alcyone	Eta (25) Tauri	2,87	B7IIIe
Atlas	27 Tauri	3,64	B8III
Electra	17 Tauri	3,71	B6IIIe
Maia	20 Tauri	4,17	B6IVev
Merope	23 Tauri	4,17	B6V
Taygeta	19 Tauri	4,29	B6V
Pleione	28 (BU) Tauri	5,09 (promjenjiva)	B8IVep
Celaeno	16 Tauri	5,44	B7IV
Asterope	21 i 22 Tauri	5,64 , 6,41	B8Ve/B9V
	18 Tauri	5,65	B8V

Tablica 1.

2.4. Hertzsprung-Russellov dijagram zvjezdanih skupova

Zvjezdani skupovi su korisni objekti za proučavanje razvoja zvijezda i provjeru teorija zvjezdane evolucije. Također je moguće određivanje njihovih udaljenosti na temelju preciznih fotometrijskih mjerenja. Na slikama 7. i 8. prikazani su H-R dijagrami za kuglaste odnosno otvorene (galaktičke) skupove. Na slici 13. su u dijagram uvršteni podaci za dva kuglasta skupa NGC 188 i M 67. Iz slike je vidljivo da se najsajnije zvijezde više ne nalaze na glavnom nizu H-R dijagrama nego su se pomakle u smjer nižih temperatura, odnosno većeg pokazatelja B-V boje. Zvijezde manjeg sjaja (i većeg pokazatelja B-V) još se nalaze na glavnom nizu. Ovakav oblik dijagrama objašnjava se teorijom zvjezdanog razvoja.



Slika 13.

Plave, vruće zvijezde iz gornjeg lijevog dijela glavnog niza imaju najveće mase i prema jednadžbi (1) relativno vrlo brzo iscrpe zalihe vodika u jezgri te se odvajaju od glavnog niza i prelaze u područje divova i superdivova. Što je skup stariji točka odvajanja od glavnog niza nalazit će se niže na nizu.

Vidimo da je skup NGC 188 stariji od skupa M67 jer je daleko više zvijezda prešlo na stranu divova. Položaj točke odvajanja na glavnom nizu ovisi, dakle, o starosti skupa. Stoga, ako na neki način znamo starosti određenog broja skupova možemo „baždari“ glavni niz tako da znamo za svaku njegovu točku kolika bi bila starost skupa s promatranim točkama

odvajanja. Ako mjerenjima sjaja zvijezda u nekom skupu dobijemo vrijednosti sjaja M_V i pokazatelja boje B-V možemo na temelju tih mjerenja iz H-R dijagrama procijeniti starost skupa.

3. VIZUALNA MJERENJA SJAJA ZVIJEZDA U VLAŠIĆIMA

3.1. Cilj rada i izbor metode rada

U ovom radu htjeli smo provjeriti je li moguće na temelju mjerenja sjaja vizualnim metodama osim prividnih zvjezdanih veličina u dva spektralna područja, odnosno koristeći dva filtra, dobiti relativno točne pokazatelje boje zvijezda u nekom skupu zvijezda. Uz pomoć dobivenih vrijednosti mogli bismo nacrtati H-R dijagram, odrediti udaljenost toga skupa te njegovu starost. Vizualne metode mjerenja sjaja zvijezda imaju naravno daleko veće greške nego mjerenja suvremenim fotometrima. No, uz dobru obradu mjerenja mogu se dobiti podaci koji omogućuju približne ocjene vrijednosti koje nas zanimaju.

Za skup smo odabrali otvoreni skup Vlašići (Plejade) iz razloga njegove dostupnosti za vizualna mjerenja i manjim dalekozorom. Za metodu vizualnih ocjena sjaja odabrali smo Argelanderovu metodu, a mjerili smo kroz filter V i filter B iz Johnsonovog UBV fotometrijskog sustava.

3.2. Argelanderova metoda

U astrofizičkim istraživanjima zvijezde se uglavnom proučavaju metodama suvremene fotometrije i spektroskopije. Unatoč tome, klasične vizualne metode nisu izgubile svoje značenje. Takvim metodama sjaj zvijezde se određuje uspoređivanjem sa sjajem susjednih zvijezda koje zovemo poredbene zvijezde. Prostim okom mogu se opažati zvijezde prividne zvjezdane veličine 6. Za teleskope granična magnituda određuje se po formuli

$$m = 2 + 5 \log D, \quad (6)$$

gdje je D promjer teleskopa u milimetrima. Za teleskop kojim smo vršili promatranja $D = 55\text{mm}$, odnosno moguće je uočiti zvijezde granične magnitude 10,7.

U ovom radu sjaj zvijezda ćemo odrediti Argelanderovom metodom.

Metodu je predložio njemački astronom Friedrich Wilhelm August Argelander (Slika 14.) sredinom 19. stoljeća.



Slika 14.

Argelander je izdao posljednji zvjezdani katalog načinjen bez korištenja fotografije. Proučavao je promjenjive zvijezde a po njemu su nazvani jedan krater na Mjesecu i planetoid (1551 Argelander).

Metoda ocjene sjaja zvijezda provodi se na sljedeći način. Uz zvijezdu čiji sjaj želimo odrediti, odaberemo i dvije poredbene zvijezde. Jedna mora biti sjajnija a druga slabijeg sjaja od promatrane. Poredbene zvijezde uvijek su odabrane tako da budu najbliže po sjaju zvijezde čiji sjaj određujemo.

Zvijezdu dovedemo u središte vidnog polja i kratko promotrimo. Zatim promotrimo sljedeću zvijezdu i nastojimo upamtiti njihov sjaj. Postupak ponavljamo dok se ne opredijelimo. Razlike u sjaju određuju se u stupnjevima. Stupanj se može definirati kao najmanja razlika u sjaju dviju zvijezda koju određeni promatrač može uočiti. Pojam stupnja se pokazuje kao potpuno realan i statistički postojan.

Ako se opažaču zvijezde čine jednako sjajne (ili ocjenjuje sjajnijom čas jednu a čas drugu) rezultat opažanja se zapisuje **a 0 x** pri čemu je sa **a** označena poredbena zvijezda a sa **x** ona zvijezda čiji sjaj želimo odrediti.

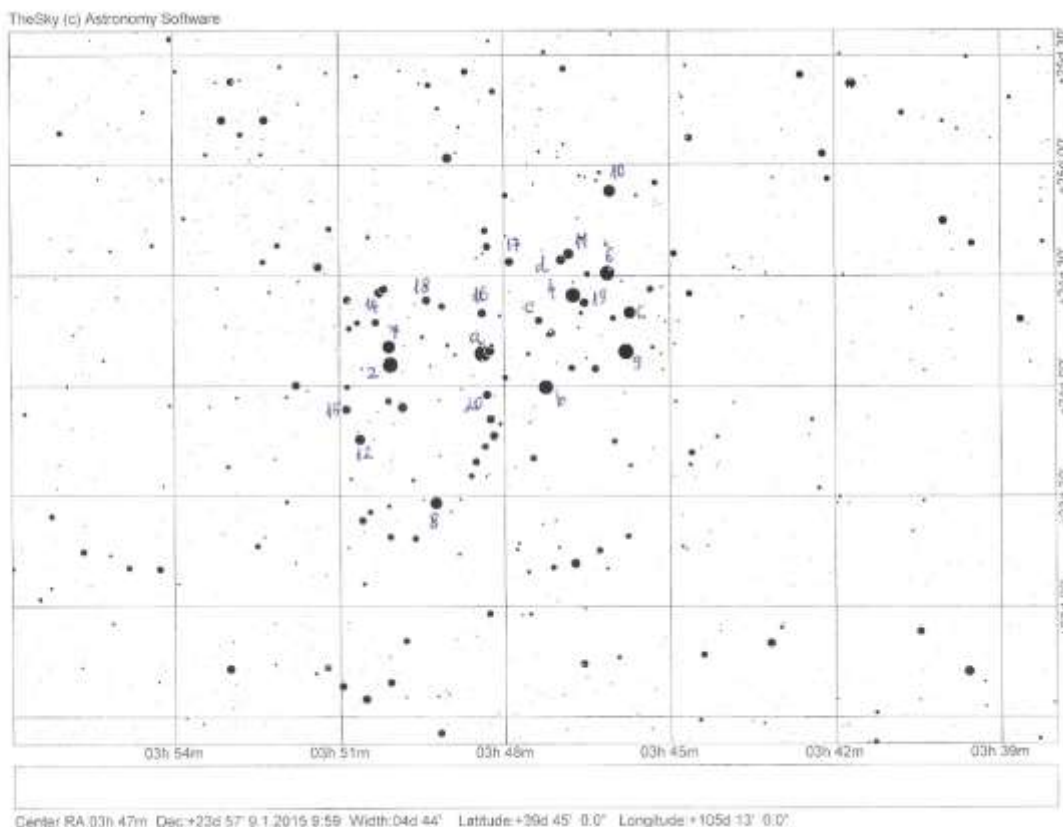
Ako je rezultat opažanja zapisan kao **a 1 x** znači da opažač procjenjuje da je zvijezda **a** ipak sjajnija od zvijezde **x** iako se tako nije činilo na prvi pogled. Zapis **a 2 x** znači da se opažaču zvijezda **a** uvijek čini sjajnijom od zvijezde **x**. Ako je razlika u sjaju odmah uočljiva rezultat opažanja se zapisuje kao **a 3 x**, a ako je još veća razlika u sjaju rezultat se zapiše kao **a 4 x**.

Isto ponovimo za zvijezdu **b**. Ocjene moraju biti međusobno neovisne.

Prije opažanja oči treba 10 minuta akomodirati u mraku te za zapis opažanja treba koristiti vrlo slabo svjetlo. Zvijezdu koju promatramo moramo dovesti u središte vidnog polja, ne smijemo gledati između zvijezda koje se opažaju te se u zvijezdu ne smije gledati dugo vremena.

3.3. Ocjene sjaja odabranih zvijezda u Vlašićima

Odabrali smo pet poredbenih zvijezda koje imaju sjajeve u takvom rasponu da dobro pokrivaju izabrane zvijezde kojima ćemo ocjenjivati sjaj u Vlašićima. Te poredbene zvijezde prikazane su u Tablici 2. i označene na slici 15. slovima od a do e. Njihove sjajeve u B i V spektralnom području preuzeli smo iz kataloga i ti su sjajevi, a također i njihov pokazatelj boje uvršteni u stupcima 3, 4 i 5.



Slika 15.

U drugom stupcu uvrštene su i njihove oznake iz HD kataloga. Zvijezde kojima ćemo ocjenjivati sjaj izabrali smo također iz istog kataloga. Pazili smo da ne izaberemo zvijezde koje su poznate kao promjenljive. Izabrane zvijezde prikazane su u tablici 3. i označene su rednim brojevima u zagradi. One su također označene na slici 15.

Zvijezda	HD	V	B	B-V
a	23630	2,87	2,78	-0,09
b	23480	4,18	4,12	-0,06
c	23288	5,46	5,42	-0,04
d	23441	6,43	6,41	-0,02
e	23489	7,35	7,35	0,10

Tablica 2.

Zvijezda	HD	V	B	B-V
(2)	23850	3,64	3,56	-0,08
(3)	23302	3,71	3,60	-0,11
(4)	23408	3,88	3,81	-0,07
(6)	23338	4,31	4,21	-0,11
(8)		5,45	5,38	-0,07
(10)	23324	5,65	5,38	-0,07
(11)	23432	5,76	5,72	-0,04
(14)		6,60	6,57	-0,03
(16)		6,81	6,87	0,06
(17)		6,82	6,84	0,02
(18)		6,95	7,07	0,12
(19)		7,18	7,34	0,16
(20)		7,26	7,31	0,05

Tablica 3.

Mjerenja, odnosno ocjene sjaja zvijezda iz tablice 3. izvršena su tijekom pet noći (od 8.01. do 7.02). Treće noći, 21.01. uspjeli smo izmjeriti sjajeve zvijezda samo kroz B filter jer se vrijeme pogoršalo pa nije bilo moguće izvršiti mjerenja kroz V filter. U tablici 4. dan je dnevnik promatranja, a u Prilogu 1 popis svih mjerenja.

Datum	Vrijeme mjerenja (SEV)	Spektralno područje	Napomena
8.01.2017.	17:10-18:20	B,V	vedro, jaka bura
20.01.2017.	18:45-19:10	B,V	vedro, sumaglica
21.01.2017.	18:55-20:30	B	vedro, oblaci
25.01.2017.	19:00-19:25	B,V	vedro, sumaglica
7.02.2017.	19:00-19:45	B,V	vedro, mjesečina

Tablica 4.

Postupak prvotne obrade dobivenih mjerenja proveden je u Prilogu 2.

3.4. Obrada mjerenja

U Prilogu 2 objašnjena je i provedena obrada naših mjerenja odabranih zvijezda Argelanderovom metodom. Grafičkom metodom najmanjih kvadrata izvršili smo potrebne korekcije sjajeva poredbenih zvijezda. Dobili smo korigirane sjajeve naših poredbenih zvijezda u B i V spektralnom području s kojima ćemo na temelju ocjena sjajeva izračunati zvjezdane

magnituda odabranih zvijezda. U tablici 5. dane su korigirane vrijednosti zvjezdanih magnituda naših poredbenih zvijezda i njihove vrijednosti za usporedbu.

Zvijezda	V	B	Vkor	Bkor
a	2,87	2,78	3,001	2,906
b	4,18	4,12	4,235	4,078
c	5,46	5,42	5,161	5,195
d	6,43	6,41	6,368	6,493
e	7,35	7,40	7,524	7,507

Tablica 5.

Uzimajući u obzir korigirane vrijednosti za zvjezdane magnituda B i V poredbenih zvijezda izračunali smo za svaku ocjenu iz Tablice u prilogu zvjezdane veličine odabranih zvijezda po formuli

$$m_x = m'_a + \frac{m'_b - m'_a}{m+n} m, \quad (7)$$

ili polazeći od zvijezde b po formuli

$$m_x = m'_b - \frac{m'_b - m'_a}{m+n} n. \quad (8)$$

m'_a i m'_b su korigirani sjajevi zvijezda a i b su razlike sjaja u stupnjevima među zvijezdama.

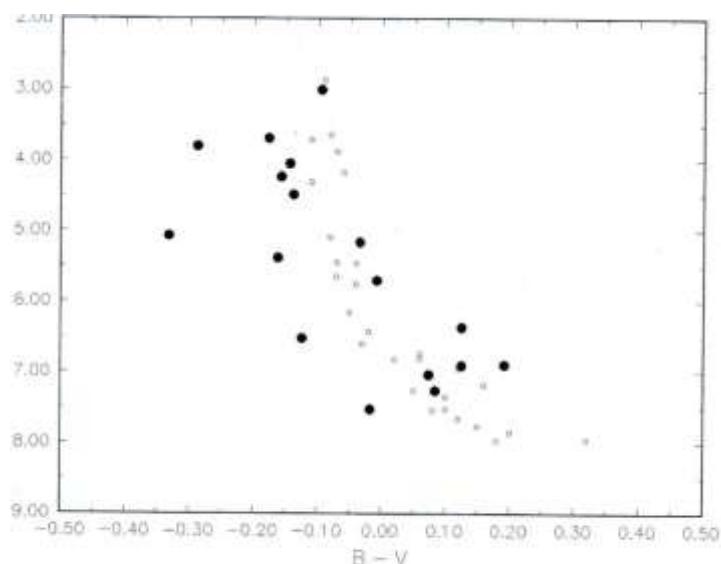
Za svaku zvijezdu izračunali smo srednju vrijednost njihovih zvjezdanih magnituda B i V. Iz tih srednjih vrijednosti izračunali smo pokazatelje boje B-V. Dobivene vrijednosti dane su u Tablici 6. usporedno s vrijednostima iz kataloga.

Zvijezda	V	B	B-V	V izmjereno	B izmjereno	B-V izmjereno
(2)	3,64	3,56	-0,08	3,69	3,52	-0,18
(3)	3,71	3,60	-0,11	3,80	3,52	-0,29
(4)	3,88	3,81	-0,07	4,05	3,91	-0,14
(6)	4,31	4,21	-0,11	4,49	4,35	-0,14
(8)	5,45	5,38	-0,07	5,07	4,74	-0,33
(10)	5,65	5,58	-0,07	5,38	5,22	-0,16
(11)	5,76	5,72	-0,04	5,70	5,70	-0,01
(14)	6,60	6,57	-0,03	6,52	6,40	-0,12
(16)	6,81	6,87	0,06	6,90	7,09	0,19
(17)	6,82	6,84	0,02	6,90	7,03	0,13
(18)	6,95	7,07	0,12	7,03	7,11	0,07
(19)	7,18	7,34	0,16	7,26	7,35	0,08

Tablica 6.

Iz tablice 6. može se zaključiti da postoje dosta velike razlike između kataloških vrijednosti i naših mjerenja. Međutim, te su razlike očekivane jer mjerenja prostim okom ne mogu postići točnost mjerenja koja se rade suvremenim fotometrom. Kad uzmemo u obzir srednju vrijednost našeg jednog stupnja dobivenog obradom mjerenja Argelanderovom metodom (za B područje 0,270 odnosno za V područje 0,224) možemo zaključiti da naše vrijednosti ipak približno opisuju sjajeve zvijezda.

To se može vidjeti i iz dobivenih vrijednosti za pokazatelje boje B-V koji pokazuju ispravan trend u smislu da sjajnije zvijezde imaju negativniji pokazatelj boje. Kako bi usporedili naše i kataloške vrijednosti nacrtali smo ovisnost prividne zvjezdane veličine V i pokazatelja boje B-V (oblik H-R dijagrama u kojem se umjesto apsolutnih ucrtavaju prividne zvjezdane veličine). Na slici 16. kataloška mjerenja su prikazana praznim kružićima a naša punim kružićima. Iz ove slike vidljivo je da naša mjerenja, iako pokazuju daleko veću raspršenost, približno pokazuju ispravan raspored u dijagramu što nam daje opravdanje da iz naših mjerenja napravimo približnu procjenu udaljenosti i starosti otvorenog galaktičkog skupa Vlašići.

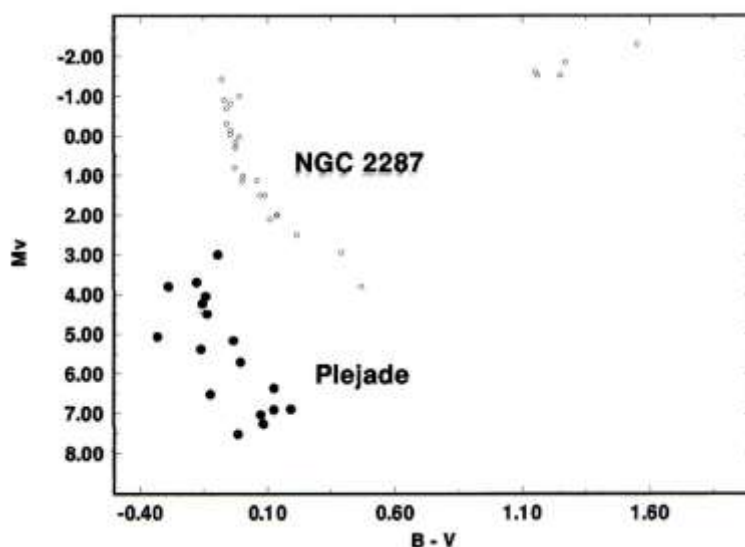


Slika 16.

4. ANALIZA REZULTATA

4.1. Procjena udaljenosti i starosti galaktičkog skupa Vlašići

Procjenu udaljenosti otvorenog skupa Vlašići napravili smo metodom koja je opisana u časopisu Bolid (broj 92.-93., 2002.). Ideja je da se iz naših mjerenja te iz nekih poznatih provjerenih mjerenja nekog skupa odredi modul udaljenosti $m_v - M_v$ za skup Vlašići te iz formule izračuna udaljenost u parsecima. Za referentni skup za čije zvijezde znamo vrijednosti za apsolutne zvjezdane veličine M_v i pokazatelj boje B-V izabrali smo otvoreni skup NGC 2287 iz rada Kuck i Eryurt-Ezer (1988) objavljenog u časopisu Astrophysics and Space Science. Ta mjerenja uvrstili smo u dijagram koji pokazuje ovisnost apsolutne veličine M_v i pokazatelja boje B-V što je prikazano na slici 17. otvorenim kružićima. Iz dijagrama je vidljivo da se većina zvijezda NGC 2287 još nalazi na glavnom nizu, a da je tek pet zvijezda prešlo u područje crvenih divova (desno gore na dijagramu). Stoga nam ovaj skup može poslužiti kao referentni skup pomoću kojega ćemo procijeniti još nepoznate apsolutne zvjezdane veličine Vlašića.



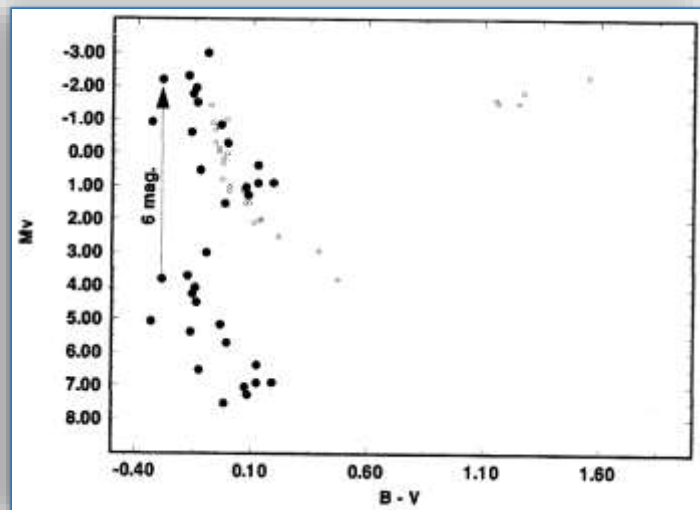
Slika 17.

Položaj zvijezda u dijagramu iz tog skupa (osim onih pet crvenih divova) predstavljat će položaj pravog glavnog niza. Postupak je sljedeći. U dijagram na slici 17. uvrstili smo prvo vrijednosti za prividnu zvjezdanu veličinu m_v i B-V za naše odabrane zvijezde koje smo dobili promatranjima (označeno punim kružićima). Ta mjerenja leže ispod glavnog niza jer smo uvrštavali prividne zvjezdane veličine. Pretpostavka je da zvijezde u Vlašićima u stvari leže na glavnom nizu pa razliku između njihovih prividnih zvjezdanih veličina m_v i apsolutnih zvjezdanih veličina M_v možemo dobiti ako pomaknemo uzduž osi y naša mjerenja tako da se ona poklope u najboljoj mjeri s glavnim nizom kojeg definira referentni skup NGC 2287.

Na taj način dobivamo razliku $m_v - M_v$ što je u stvari modul udaljenosti kako je definiran formulom (3). Postupak je prikazan na slici 18. Procijenili smo da je razlika između prividnih i apsolutnih zvjezdanih veličina za zvijezde u Vlašićima približno 6 zvjezdanih veličina, odnosno $m_v - M_v = 6$. Iz te vrijednosti možemo koristeći formulu (9) izračunati udaljenost skupa Vlašići,

$$\log d = (m_v - M_v + 5)/5 \quad (9)$$

odnosno $d=158$ parseca.



Slika 18.

Dijagram na slici 18. može nam poslužiti također da napravimo i grubu procjenu starosti otvorenog skupa Vlašići. Znamo da što je skup stariji sve više zvijezda započinje prijelaz od glavnog niza H-R dijagrama u područje crvenih divova. U navedenom radu starost NGC 2287 procijenjena je na otprilike 80 milijuna godina. Iz naših mjerenja vidljivo je da se zvijezde u Vlašićima još nalaze na ili vrlo blizu glavnog niza H-R dijagrama iz čega možemo zaključiti da je skup Vlašići mlađi, odnosno da mu je starost manja od 80 milijuna godina.

5. RASPRAVA I ZAKLJUČAK

Mjerenja sjaja zvijezda u otvorenom skupu Vlašići u dva spektralna područja, koristeći filtere B i V Johnsonovog fotometrijskog sustava omogućila su nam procijeniti udaljenost i starost tog zvjezdanog skupa. Budući da su mjerenja izvršena vizualnom Argelanderovom metodom za očekivati je da naše procjene imaju veliku grešku. Stoga je potrebno napraviti usporedbu naših procjena sa obavljenim mjerenjima koja su rađena suvremenim metodama. U radu objavljenom u časopisu *Astrophysical Journal* 2007. (An i dr.) za udaljenost Vlašića je određena srednja vrijednost od 134 parseka. Ta se vrijednost vrlo dobro slaže s najnovijim mjerenjima objavljenim u časopisu *Science* 2014. godine (Melis i dr.) koja iznosi 136 parseka.

Naša vrijednost od 158 parseka razlikuje se od tih vrijednosti što je bilo i za očekivati. No razlika od otprilike 20% nije prevelika ako se uzme u obzir nepreciznost naše metode mjerenja.

Što se tiče starosti skupa, ona je za Vlašiće u literaturi procijenjena na vrijednosti između 75 i 150 milijuna godina. Iz naših mjerenja smo procijenili da je starost skupa Vlašići manja od 80 milijuna godina što ne izlazi iz granica objavljenih vrijednosti.

Stoga možemo zaključiti da se vizualnim metodama mjerenja sjaja zvijezda mogu dobiti ishodi za udaljenost skupa Vlašići koji ne odstupaju bitno od točnih suvremenih mjerenja. Za procjenu gornje granice starosti Vlašića dobivena vrijednost je također u okvirima do sada izračunatih vrijednosti.

Bez obzira na nepreciznost ljudskog oka Argelanderova metoda se pokazala kao uspješan postupak za postizanje relativno pouzdanih rezultata u zvjezdanoj fotometriji. Bolju točnost moglo bi se postići većim brojem mjerenja što bi pridonijelo i većem iskustvu promatrača i preciznijim ocjenama sjaja.

6. LITERATURA

1. Vladis Vujnović; Zvezdane vatre dalekog svemira; Profil 2009.
2. Berić, Frlež, Kovačić, Rabuzin, Tadej, Vršnak; Astronomija, metode promatranja i proučavanja; Narodna tehnika Hrvatske 1982.
3. Vladis Vujnović; Astronomija 1 i 2; Školska knjiga 2009.
4. Dragan Roša; Metode astronomskih istraživanja; ALFA 2009.
5. Kucuk, I. i Eryurt-Ezer, D. 1988, Astrophysics and Space Science Vol. 147, 137-143
6. Melis, C. i dr. 2014, Science Vol. 345, 1029-1032
7. Bolid; broj 92-93., Godište XXIX
8. An, D. i dr. 2007, Astrophysical Journal Vol. 655, 233-260

7. PRILOZI

Prilog 1

Mjerenja odabranih zvijezda u otvorenom skupu Vlačići u V i B području

V PODRUČJE

8.01.2017. 20.01.2017. 25.01.2017. 7.02.2017.
(17:10-18:20) (18:45-19:10) (19:00-19:25) (19:20-19:45)

A 4 (2) 3 B A 3 (2) 3 B A 4 (2) 2 B A 3 (2) 3 B
A 4 (3) 2 B A 3 (3) 2 B A 4 (3) 2 B A 4 (3) 2 B
A 4 (4) 0 B A 4 (4) 1 B A 4 (4) 0 B A 3 (4) 2 B
B 1 (6) 3 C B 0 (6) 3 C B 1 (6) 3 C B 2 (6) 3 C
B 3 (8) 0 C B 4 (8) 0 C B 4 (8) 1 C B 4 (8) 1 C
C 2 (10) 3 D C 1 (10) 4 D C 2 (10) 4 D C 1 (10) 4 D
C 2 (11) 4 D C 1 (11) 4 D C 2 (11) 4 D C 1 (11) 4 D
D 0 (14) 3 E D 1 (14) 4 E D 2 (14) 4 E D 0 (14) 3 E
D 2 (16) 2 E D 2 (16) 3 E D 3 (16) 3 E D 3 (16) 4 E
D 3 (17) 4 E D 3 (17) 4 E D 3 (17) 3 E D 3 (17) 3 E
D 3 (18) 2 E D 3 (18) 2 E D 4 (18) 2 E D 3 (18) 3 E
D 4 (19) 1 E D 3 (19) 1 E D 4 (19) 1 E D 3 (19) 1 E

B PODRUČJE

8.01.2017. 20.01.2017. 21.01.2017 25.01.2017 7.02.2017
(17:10-18:20) (18:45-19:10) (18:55-20:30) (19:00-19:25) (19:00-19:45)

A 3 (2) 0 B A 2 (2) 1 B A 2 (2) 3 B A 1 (2) 4 B A 2 (2) 4 B
A 1 (3) 3 B A 2 (3) 2 B A 2 (3) 2 B A 3 (3) 2 B A 3 (3) 1 B
A 3 (4) 0 B A 3 (4) 0 B A 4 (4) 2 B A 4 (3) 1 B A 4 (3) 1 B
B 1 (6) 3 C B 1 (6) 2 C B 1 (6) 3 C B 1 (6) 4 C B 1 (6) 4 C
B 2 (8) 2 C B 3 (8) 1 C B 3 (8) 2 C B 2 (8) 2 C B 3 (8) 2 C
B 4 (10) 0 C B 3 (10) 1 C B 4 (10) 0 C B 3 (10) 0 C B 3 (10) 1 C
C 3 (11) 2 D C 3 (11) 2 D C 2 (11) 4 D C 1 (11) 4 D C 1 (11) 4 D
C 4 (14) 0 D C 4 (14) 1 D C 3 (14) 0 D C 5 (14) 1 D C 4 (14) 0 D
D 2 (16) 2 E D 2 (16) 1 E D 3 (16) 2 E D 2 (16) 1 E D 2 (16) 2 E
D 2 (17) 2 E D 3 (17) 1 E D 2 (17) 3 E D 2 (17) 2 E D 2 (17) 2 E
D 3 (18) 2 E D 2 (18) 1 E D 2 (18) 2 E D 3 (18) 2 E D 2 (18) 1 E
D 2 (19) 1 E D 1 (19) 0 E D 2 (19) 0 E D 3 (19) 1 E D 4 (19) 1 E

Prilog 2

Da bi izračunali sjajeve zvijezda u V i B području iz naših mjerenja prvo smo napravili korekciju sjaja poredbenih zvijezda. Vrijednosti B i V tih zvijezda preuzeti su iz kataloga i one predstavljaju sjajeve koji su dobiveni mjerenjima fotoelektričnim fotometrima. Osjetljivost našeg oka nije ista kao osjetljivost fotometra pa je potrebno izvršiti manje korekcije tih sjajeva. Postupa se na sljedeći način. Ako pogledamo naše ocjene sjaja vidimo da razlika u stupnjevima između susjednih poredbenih zvijezda nije jednaka za svaku našu ocjenu. Na primjer, u prvoj noći mjerenja u V filteru

radili smo ocjene za zvijezde (2), (3) i (4) u odnosu na poredbene zvijezde a i b. Vidimo da je razlika u stupnjevima između tih zvijezda bila 7 za zvijezdu (2), 6 za zvijezdu (3) te 4 za zvijezdu (4). Idelno bi bilo da su te razlike uvijek iste ali zbog nesavršenosti ljudskog oka uvijek su moguća i takva odstupanja. Stoga prvo računamo srednje vrijednosti razlika u stupnjevima između susjednih poredbenih zvijezda za sva mjerenja koja imamo na raspolaganju. Na taj način dobijemo razlike u stupnjevima za V filter

$$a - b = 5,50, \quad b - c = 4,13, \quad c - d = 5,38 \quad \text{i} \quad d - e = 5,15,$$

a za B filter

$$a - b = 4,33, \quad b - c = 4,13, \quad c - d = 4,80 \quad \text{i} \quad d - e = 3,75.$$

Napravili smo ljestvicu sjajeva poredbenih zvijezda u stupnjevima za svaki filter posebno tako da najsajnijoj

zvijezdi a pridjelimo sjaj 0 stupnjeva. Zvijezda b imat će onda sjaj u stupnjevima 5,50 za V filter odnosno 4.33 za B

filter (koliko iznosi razlika u stupnjevima između a i b) i tako dalje.

U Tablici 1. uvrštene su poredbene zvijezde gdje su u stupcima sV i sB upisani njihovi sjajevi u našim stupnjevima.

Tablica 1.

Oznaka	HD broj	V	B	B-V	sV	sB	Vkor	Bkor
A	HD 23630	2,87	2,78	-0,09	0	0	3,00	2,91
B	HD 23480	4,18	4,12	-0,06	5,50	4,33	4,24	4,08
C	HD 23288	5,46	5,42	-0,04	9,63	8,47	5,16	5,20
D	HD 23441	6,43	6,41	-0,02	15,00	13,27	6,37	6,49
E	HD 23489	7,35	7,45	0,10	20,15	17,02	7,52	7,51

Sad ćemo nacrtati grafove (posebno za V i B područje) u kojima ćemo na os x uvrštavati sjajeve u stupnjevima iz kolona sV i sB a na os y prave prividne zvjezdane veličine iz kolona V i B. Grafovi su prikazani na slikama 1 i 2. U idealnom slučaju točke u grafovima bi trebale ležati na pravcu, no zbog neizbježnih grešaka kod vizualnih promatranja vidimo da su one raštrkane iako pokazuju linearni

trend. Stoga ćemo sad napraviti korekciju sjajeva poredbenih zvijezda i dobiti vrijednosti koje

odgovaraju našem oku.

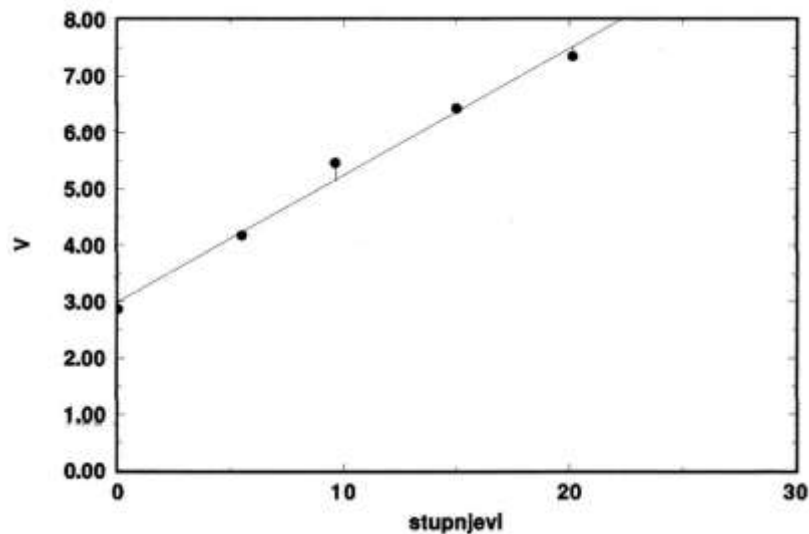
Povuče se pravac koji se najbolje približava točkama u grafu i najbolje odgovara njihovom međusobnom rasporedu.

Nakon toga iz točaka koje ne leže na tom pravcu povučemo crte usporedo s osi y. Gdje te crte sijeku pravac dobivamo točke kojima očitamo vrijednosti na osi y. Te vrijednosti predstavljaju popravljene sjajeve poredbenih zvijezda u V odnosno B području. Opisani postupak zove se grafička metoda najmanjih kvadrata. Dobivene vrijednosti upisane su u Tablicu 1 u stupcima Vkor i Bkor. Iz grafa možemo odrediti i vrijednost jednog našeg stupnja u zvjezdanim magnitudama. Ta vrijednost u stvari je koeficijent nagiba pravca odnosno tangens kuta između pravca i osi x.

Za filter V dobivamo $k_v = 0,22$ z filter B $k_b = 0,27$. To su dosta velike vrijednosti, iskusni promatrači obično imaju vrijednost jednog stupanj oko 0,1 zvjezdane veličine.

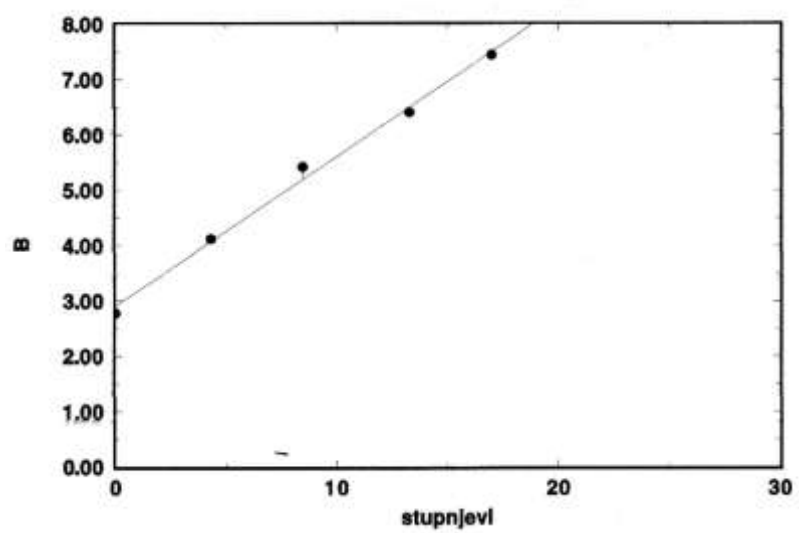
Koristeći nove, ispravljene vrijednosti sjajeva poredbenih zvijezda računat ćemo sjajeve odabranih zvijezda za svaku ocjenu sjaja iz Priloga 1.

Grafička korekcija sjaja poredbenih zvijezda za zvjezdanu veličinu V



Slika 1.

Grafička korekcija sjaja poredbenih zvijezda za zvjezdanu veličinu B



Slika 2.