

24 460 svjetlosnih godina od Zemlje

Kusanović, Dora

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Science / Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:166:057719>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-09**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Science](#)



Sveučilište u Splitu
Prirodoslovno-matematički fakultet

24 460 svjetlosnih godina od Zemlje

Završni rad

Dora Kusanović

Split, rujan 2024.

Temeljna dokumentacijska kartica

Sveučilište u Splitu
Prirodoslovno–matematički fakultet
Odjel za fiziku
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Hrvatska

Završni rad

24 460 svjetlosnih godina od Zemlje

Dora Kusanović

Sveučilišni prijediplomski studij Fizika

Sažetak:

Zvezdani su skupovi nakupine velikog broja zvijezda. Kuglasti su skupovi pravilnog oblika zbog djelovanja gravitacijske sile te se takvi skupovi najčešće nalaze u galaktičkom halou. Zvijezde koje pripadaju istom skupu nastaju u isto vrijeme i imaju neke zajedničke značajke što omogućava identifikaciju članova skupa, a time i određivanje starosti te udaljenosti od Zemlje. Korištenjem teleskopa Celestron Nexstar Evolution 8 i monokoromatske kamere ZWO ASI294MM Pro fotografira se kuglasti skup *Messier 5* (*M5*, *NGC 5904*), jedan od najstarijih skupova u Mliječnoj stazi. Za određivanje članova skupa *M5* koriste se podaci o paralaksi, magnitudi i gibanju skupa sa satelita Gaia te se podaci grafički prikazuju u programu *TOPCAT*.

Ključne riječi: zvijezde, zvezdani skupovi, astrofotografija, M5

Rad sadrži: 17 stranica, 11 slika, 1 tablicu, 13 literaturnih navoda. Izvornik je na hrvatskom jeziku.

Mentor: doc. dr. sc. Marko Kovač

Neposredni voditelj: Tamara Rom, mag. phys.

Ocjenjivači: doc. dr. sc. Marko Kovač,
Tamara Rom, mag. phys.,
dr. sc. Marin Vojković

Rad prihvaćen: 26. rujna 2024.

Rad je pohranjen u Knjižnici Prirodoslovno–matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu.

Basic documentation card

University of Split
Faculty of Science
Department of Physics
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Croatia

Bachelor thesis

24 460 light-years from Earth

Dora Kusanović

University undergraduate study Physics

Abstract:

Stellar clusters are large groups of stars. Globular clusters have a regular shape due to the gravitational force and such clusters are usually found in galactic halos. The stars that belong to the same cluster are formed at the same time and have some features in common which makes it possible to identify the members of the cluster, and thus to determine their age and distance from Earth. The globular cluster Messier 5 (M5, NGC 5904), one of the oldest clusters in the Milky Way, is photographed using the Celestron Nexstar Evolution 8 telescope and monochromatic camera ZWO ASI294MM Pro. The data on parallax, magnitude and motion on the celestial sphere are obtained from the Gaia satellite to determine the members of the cluster M5, and the data graphically viewed in TOPCAT software.

Keywords: stars, star clusters, astrophotography, M5

Thesis consists of: 17 pages, 11 figures, 1 tables, 13 references. Original language: Croatian.

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Marko Kovač

Leader: Tamara Rom, MSc. Phys.

Reviewers: Assist. Prof. Dr. Marko Kovač,
Tamara Rom, MSc. Phys.,
Dr. Marin Vojković

Thesis accepted: September 26, 2024

Thesis is deposited in the library of the Faculty of Science, University of Split.

Sadržaj

1	Uvod	1
2	Zvijezde i zvjezdani skupovi	1
2.1	Kuglasti zvjezdani skupovi	2
2.2	Messier 5	3
3	Mjerni uređaj i mjerenje	4
4	Astrofotografija	7
5	Obrada	10
6	Zaključak	12
A	Kod za poravnavanje fotografija	14
B	Kod za obradu astrofotografije	15
B.1	Master bias	15
B.2	Master flat	16
B.3	Konačna fotografija	17

1 Uvod

Noćno je nebo oduvijek pobuđivalo ljudsku maštu i znatiželju. Brojni su drevni promatrači zvijezde povezivali s legendama i božanstvima gdje su usprkos naizgled nasumičnom rasporedu uočavali karakterističan raspored zvijezda na nebu te ih prozvali zviježđa. Zvijezde su plinovita kuglasta tijela koja posjeduju vlastiti izvor energije, a na noćnome se nebu vide kao bljeskajuće točkice različite jakosti. Za razliku od planeta, zvijezde trepere. Prolaskom svjetlosti sa zvijezde kroz Zemljinu atmosferu, zrake nailaze na slojeve gustoga i rijetkoga zraka te samim prijelazom među slojevima zrake se lome. Takve neprestane promjene smjera uzrokuju da slika zvijezde u ljudskome oku mijenja mjesto te zbog tromosti oka čovjek vidi treperenje. Zvijezde nastale u isto vrijeme koje su međusobno povezane gravitacijskom silom tvore zvjezdane skupove. U ovom radu daje se kratki opis klasifikacije zvijezda i zvjezdanih skupova s naglaskom na kuglaste skupove. Modernim metodama izrađuje se astrofotografija te se određuju članovi skupa pod nazivom *M5*, jednoga od najstarijih kuglastih skupova u Mliječnoj stazi [1].

2 Zvijezde i zvjezdani skupovi

Zvjezdani skupovi (ili zvjezdana jata) su nakupine (skupovi) velikog broja zvijezda [2]. Te su zvijezde nastale u isto vrijeme i povezane su gravitacijskom silom. Otvorene skupove čine mlade zvijezde i smješteni su unutar galaktičke ploče. Nepravilnog su oblika i sadrže nekoliko tisuća mladih zvijezda nastalih iz istog međuzvjezdanog oblaka plina i prašine. Kuglasti skupovi su okruglog oblika, a sadržavaju stare zvijezde i nalaze se u galaktičkom halou. U kuglastim je skupovima prosječna gustoća zvijezda puno veća nego u otvorenim [3].

S obzirom na sastav i udio teških metala, zvijezde se po nastanku dijele na tri populacije. Populacija I ima najveći udio metala i sadrži plave zvijezde uz plin i prašinu [4]. Populacija II sadrži manje metala bez plina i prašine. Populacija III gotovo ne sadrži metale i takve su zvijezde nastale prije 13.7 milijardi godina, upravo nakon Velikog praska [5]. Otvoreni skupovi i galaktički diskovi sastavljeni su od materijala populacije I, dok su kuglasti skupovi i eliptičke galaksije sastavljeni od zvijezda populacije II [4].

Na osnovi karakterističnih spektralnih linija koje emitira ili apsorbira neki atom, moguće je ustanoviti kemijski sastav zvijezda. Spektralni razredi zvijezda označeni su slovima: O, B, A, F, G, K i M, redom od najvećih do najmanjih temperatura [3]. Svaki je od spektralnih razreda podijeljen na 10 podgrupa označenih brojevima od 0 do 9, redom od najveće do najmanje temperature unutar spektralnog razreda. Također, dodaje se i rimski broj od I do VII koji označava veličinu zvijezde gdje se s I označavaju zvijezde velikih radijusa, a sa VII zvijezde malih radijusa. Osnovni spektralni razredi uz odgovarajuće površinske temperature, boje i specifične spektralne linije ioniziranih atoma zapisani su u tablici 1.

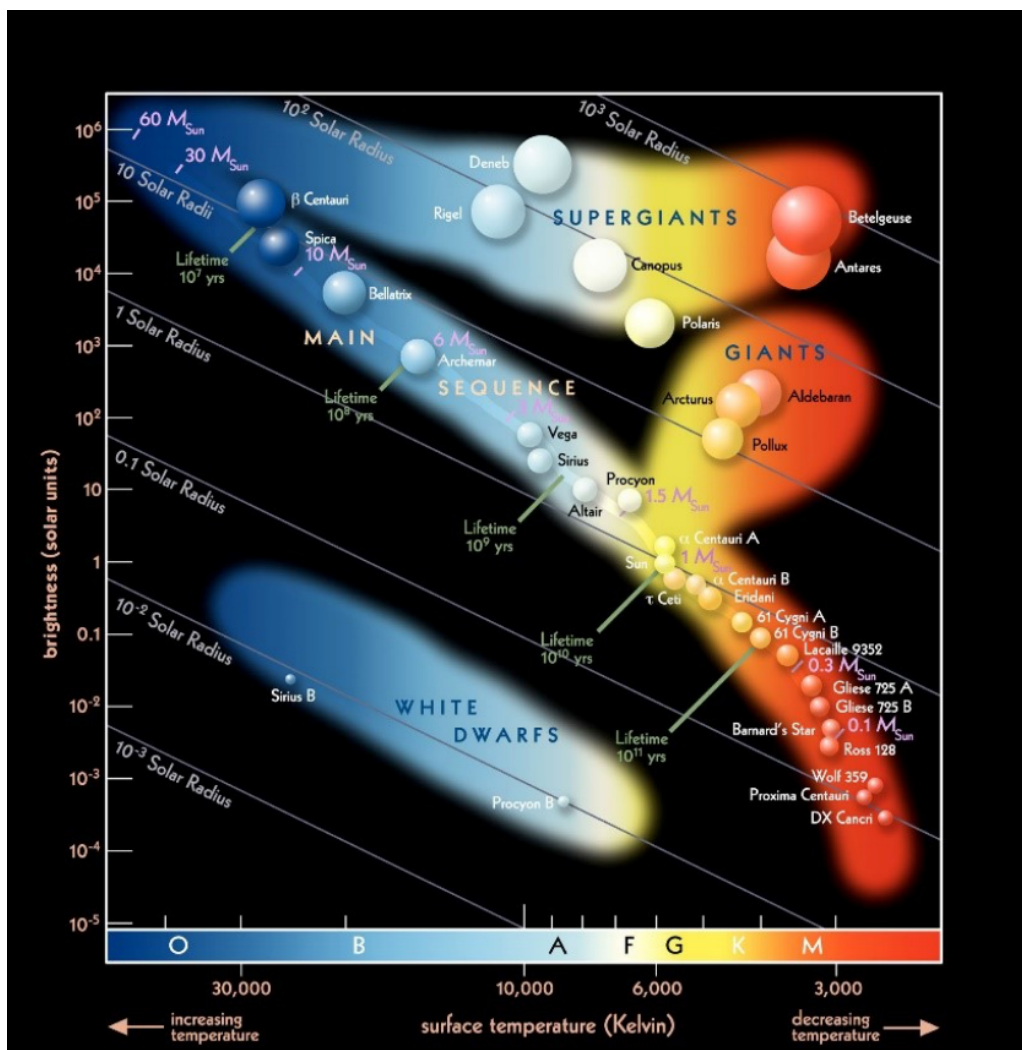
spektralni razred	površinska temperatura [K]	boja	karakteristične linije u spektru
O	$\geq 30\ 000$	modra	HeI, HeII
B	10 000 - 30 000	modro-bijela	HeI, HI
A	7 500 - 10 000	bijela	HI
F	6 000 - 7 500	žuto-bijela	CaII
G	5 200 - 6 000	žuta	CaII, vodikove linije, neutralni metali
K	3 700 - 5 200	žuto-crvena	metali
M	2 400 - 3 700	crvena	molekulske vrpce

Tablica 1: Osnovni spektralni razredi zvijezda s iznosima površinske temperature. Oznaka I uz kemijski element u posljednjem stupcu označava neutralni atom, a II označava da je atom jednom ioniziran. [3]

U prvoj polovici dvadesetog stoljeća, Ejnar Hertzsprung i Henry Norris Russel neovisno su otkrili da u grafičkom prikazu ovisnosti boje i luminoziteta zvijezde nisu nasumično raspoređene, već su postavljene unutar usko definiranih pojaseva [4]. Takav se grafički prikaz naziva Hertzsprung-Russel (ili HR) dijagram (slika 1). U HR dijagramu položaj zvijezde određen je luminozitetom (ili apsolutnom zvjezdanom veličinom) koja se nalazi na y -osi te efektivnom površinskom temperaturom (ili spektralnim razredom) zvijezde na x -osi dijagrama. S obzirom da snaga zračenja (luminozitet) ovisi o površinskoj temperaturi i površini zvijezde, u HR dijagramu moguće je pronaći i polumjer, odnosno veličinu zvijezde [3]. Najviše se zvijezda nalazi u području koje se zove glavni niz (*eng. main sequence*). To su stabilne zvijezde s fuzijom vodika u helij kao izvorom energije. Zvijezde glavnog niza međusobno se razlikuju po površinskoj temperaturi, luminozitetu i veličini [3]. Na donjem dijelu glavnog niza nalaze se crveni patuljci (*eng. red dwarfs*), tj. zvijezde manje mase, luminoziteta i površinske temperature od Sunca, te na gornjem se dijelu nalaze modri divovi koji zrače puno više nego Sunce, tj. brže troše svoje zalihe nuklearnog goriva [3]. U gornjem desnom dijelu dijagrama nalaze se zvijezde velikog luminoziteta, ali male površinske temperature. Radi se o velikim zvijezdama iste površinske temperature kao i zvijezde glavnog niza istog spektralnog razreda, njihov je luminozitet veći zbog veće površine [3]. Takve se zvijezde nazivaju crveni divovi (*eng. red giants*), a najsjajnije naddivovi (*eng. supergiants*). Zvijezde velike površinske temperature, maloga luminoziteta i male površine nalaze se u donjem lijevom dijelu dijagrama i zovu se bijeli patuljci (*eng. white dwarfs*).

2.1 Kuglasti zvjezdani skupovi

Kuglasti se zvjezdani skupovi uobičajeno sastoje od oko 10^5 zvijezda. Najčešće se radi o vrlo starim objektima koji više ne sadrže zvijezde glavnog niza HR dijagrama, odnosno sastavljeni su od zvijezda populacije II [7]. Većina kuglastih skupova nastala je u ranim vremenima svemira. S obzirom da su kuglasti skupovi vrlo gusti, obično je nemoguće razaznati pojedine zvijezde, čak i u vanjskim dijelovima skupa.



Slika 1: Hertzsprung-Russel dijagram. (slika preuzeta iz [6])

2.2 Messier 5

Zvezdani skup *Messier 5* (*M5*) stari je zvezdani skup koji se nalazi u zviježđu Zmije (lat. *Serpens*) i jedan je od najstarijih kuglastih skupova u Mliječnoj stazi [1]. Prvi je put uočen 5. svibnja 1702. godine dok su njemački astronomi Maria Margarethe i Gottfried Kirch promatrali komet, no nisu znali da se radi o zvezdanom skupu. Godine 1764., Charles Messier neovisno o ranijim astronomima uočava skup i opisuje ga kao maglicu bez zvijezda. Tek 1791. godine William Herschel uočava da se radi o zvezdanom jatu [8]. Ukupna oznaka spektralnog razreda *M5* je F7. Poznato je da se nalazi na udaljenosti 24 460 svjetlosnih godina od Zemlje, ima više od 100 tisuća zvijezda te je starosti 13 milijardi godina (populacija II) [9].

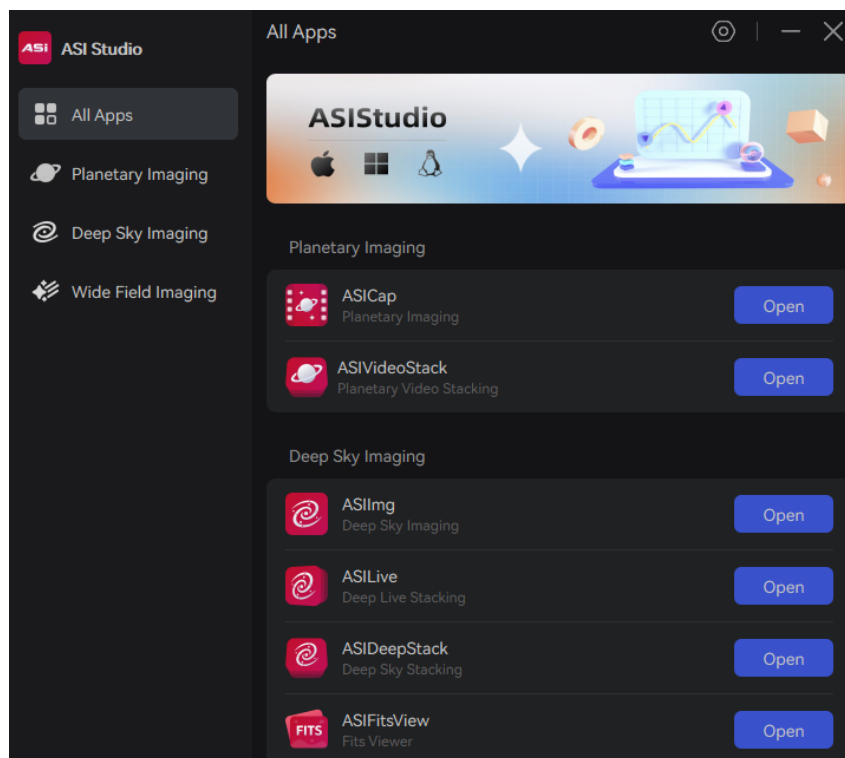
3 Mjerni uređaj i mjerenje

Za prikupljanje podataka za skup *M5* korišten je teleskop Celestron Nexstar Evolution 8 s motoriziranom GoTo montažom te su podaci prikupljeni 15. srpnja 2024. na geografskim koordinatama $43^{\circ}30'11''\text{N}$, $16^{\circ}24'55''\text{E}$. Koristi se monokromatska kamera ZWO ASI294MM Pro s trima filterima; plavi, zeleni i crveni, te se uparuje s aplikacijom ASISudio (slika 3) gdje se koristi opcija ASIImg. Kameri je potrebno stalno napajanje pa je korištena prijenosna baterija. Teleskop s povezanom kamerom prikazan je na slici 2.

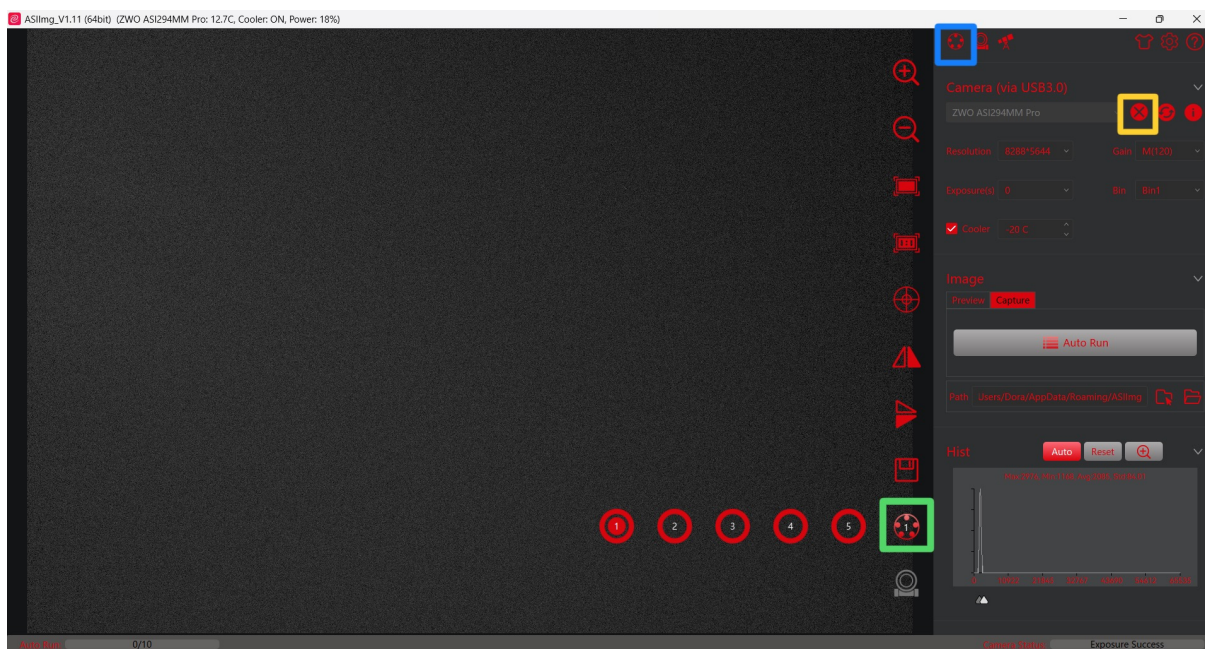


Slika 2: Lijevo: Postav za obavljanje mjerenja koji se sastoji od teleskopa, kamere povezane s prijenosnim računalom te prijenosne baterije. U crvenom okviru nalazi se kamera, žutom kotač s bojama, zelenom vijak za izoštravanje i plavom daljinski upravljač. Desno: Kamera povezana s kotačem s bojama.

Kako bi kamera ispravno funkcionirala potrebno je postaviti potrebne uvjete u ASIImg. Najprije je potrebno pokrenuti rad kamere pritiskom na gumb uokviren žutom bojom na slici 4. Nadalje, kako bi se aktivirao kotač s filterima (eng. *color wheel*), bira se gumb uokviren plavom bojom. Nakon uspješne aktivacije kamere, bira se vrijeme ekspozicije ovisno o količini svjetlosti s objekta, kamera se hladi opcijom *Cooler*, a *gain* se postavlja na 120. Za fotografiranje koriste se *Capture* te *Auto Run* gdje se odabire vrsta fotografije koja je potrebna i vrlo je bitno da su oba zeleno uokvirena dijela slike 5 podešena na isti filter. U suprotnom, kotač s bojama se ne vrti. Korisno je svaku vrstu fotografije raditi zasebno jer na taj način ASISudio izrađuje zasebnu mapu pri pohrani podataka za svaki niz fotografija. Sama kamera ima mogućnost za postavljanje 5 filtera, no u ovom su slučaju filteri 4 i 5 prazni.

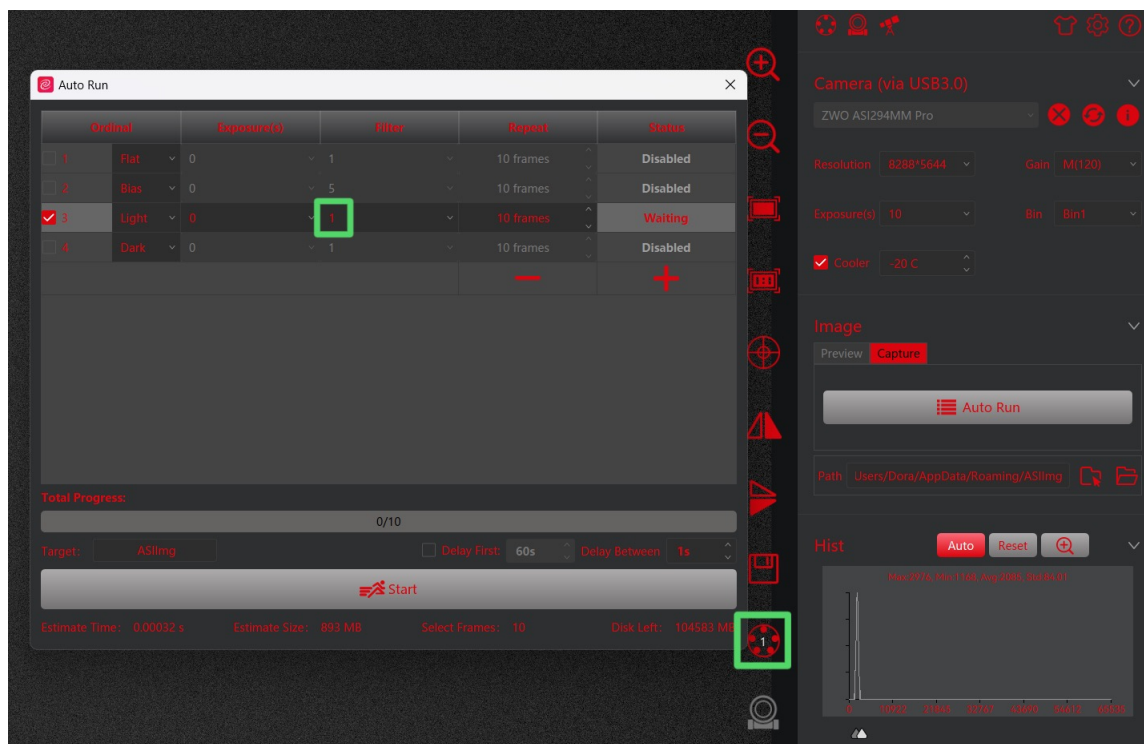


Slika 3: Opcije u aplikaciji ASIStudio.



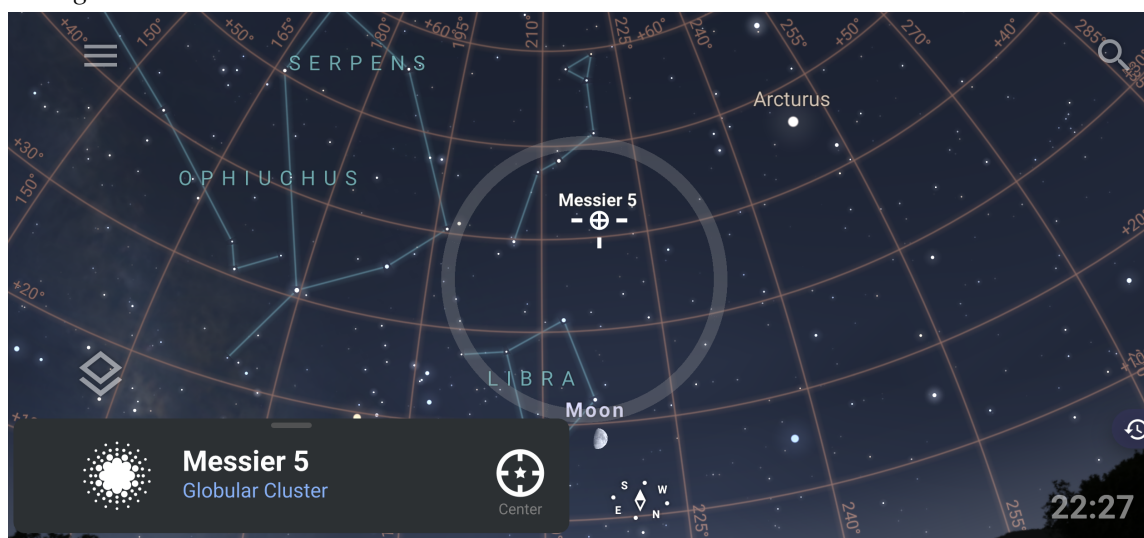
Slika 4: Opcija ASIIImg gdje se odabiru gain, Cooler i vrijeme ekspozicije. Klikom na opciju u žutom okviru aktivira se kamera, plavom kotač s bojama, a zelenom se bira filter.

Za dobivanje konačne fotografije, potrebno je prikupiti tri vrste fotografije pod nazivom *bias*, *flats* i *lights*. Pri fotografiranju, najprije se izrađuju *flats* sa Suncem ispod horizonta te prije mraka. Nadalje, radi se o savijavanju (eng. *alignment*) teleskopa, odnosno teleskopu se manualno daju informacije o točnom položaju nekih zvijezda pri čemu je korištena opcija 'Two Star Alignment'. *Alignment* daje opciju praćenja objekta na nebu, tj. nije potrebno ručno



Slika 5: Opcija Auto Run gdje se bira vrsta fotografije, vrijeme ekspozicije, filter i broj fotografija.

okretati teleskop. Daljinskim je upravljačem potrebno odabrati *Custom site* koji dozvoljava preciznije lociranje mjesta gdje se teleskop nalazi. Potom, unose se geografske koordinate, vremenska zona (*Zone 1*), vrijeme, standardno vrijeme (eng. *Standard Time*) ili ljetno računanje vremena (eng. *Daylight Savings*) i datum pa se teleskop usmjeri prema dvjema zvijezdama, a u ovom su slučaju korištene zvijezde Arcturus i Antares čiji je položaj identificiran pomoću aplikacije *Stellarium* (slika 6). Nakon što je željeni objekt uspješno pronađen, ponovo se postavlja kamera te je vijkom na teleskopu potrebno fokusirati sliku. Potom, fotografiraju se *bias* i *lights*.



Slika 6: Položaj skupa M5 na noćnome nebu 15. srpnja 2024. prikazan pomoću mobilne aplikacije *Stellarium*.

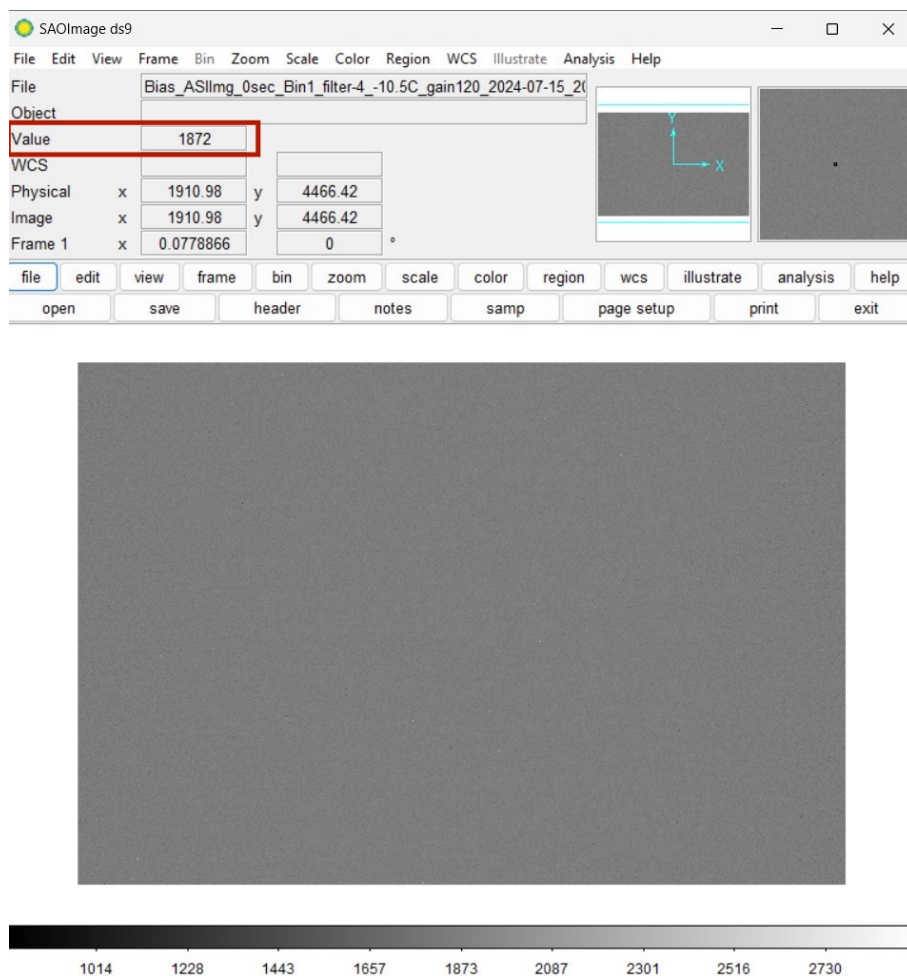
4 Astrofotografija

Dvije najkorištenije vrste senzora u astronomiji su *CCD* (*Charge Coupled Device*) i *CMOS* (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*). Godine 1967. prvi se put pojavljuje *CCD*, tj. senzori izgrađeni od silikona s dvodimenzionalnim nizovima fotoosjetljivih jedinica (piksela) [11]. Devedesetih godina prošlog stoljeća pojavljuje se *CMOS* senzor. Za razliku od *CCD* senzora, *CMOS* u svakome pikselu ima ugrađenu elektroniku koja sadrži pojačalo i analogno digitalni pretvarač (eng. *analog-to-digital converter*) što omogućava dobivanje više slika u sekundi [11]. Zbog niske cijene, visoke dostupnosti i nižeg šuma pri očitavanju (eng. *readout noise*), *CMOS* senzori postaju sve zastupljeniji. U kameri ASI294MM korištenoj za mjerenja nalazi se *CMOS* senzor.

Ukupan naboj elektrona u svakom pikselu je $Q = eN_e$ gdje je N_e broj elektrona, a e elementarni naboj [10]. Taj se ukupni naboj mjeri ubacivanjem u kapacitor kapaciteta C i mjeri se napon $V = Q/C$. Dakle, napon je proporcionalan broju elektrona $N_e = CV/e$. Kako bi se podaci pohranili moraju se pretvoriti u digitalni oblik N_c . Pri tome vrijedi $N_e = \text{gain} \cdot N_c$.

Ukoliko se s kratkom ekspozicijom fotografira neki objekt, na svakom se pikselu nađe po samo nekoliko elektrona. Svaki piksel neće imati podjednak broj elektrona već će slijediti normalnu distribuciju. Uspoređujući normalnu raspodjelu i N_e , neki bi pikseli trebali imati negativni broj što nije dozvoljeno radi optimizacije memorije, odnosno da ne dođe do potrebe pohranjivanja i predznaka. Kako bi se uklonio negativni broj, na kapacitor se primjenjuje napon pomaka fotografirajući *bias*. Tada i pikseli na kojima nema elektrona također vraćaju *bias* vrijednost koju je potrebno oduzeti od podataka. Za fotografiju, zatvara se objektiv teleskopa, uklanja filter te se postavlja vrijeme ekspozicije 0 s. Dakle, takve će slike sadržavati zalihosni elektronički šum te se njihov prosjek naziva *master bias* koji se konačno oduzima od podataka. Iz eksperimenata, svaki piksel *bias* fotografije treba sadržavati oko 1900 N_c što je moguće provjeriti u aplikaciji *SAOImage ds9* kao što je prikazano na slici 7. To je standardna vrijednost koju se uzima bez obzira o promatranom objektu.

Osim *bias* fotografija, potrebno je prikupiti i *flat field*, tj. *flats*. Ukoliko se fotografira nebo sa Suncem ispod horizonta i bez vidljivih zvijezda, svaki piksel nema jednak broj N_c . Do nejednakog broja dolazi zbog nesavršenosti senzora ili zamućivanja (eng. *vignetting*) fotografije pri rubovima. Vrijednosti N_c za *flats* bi trebale biti oko 20 000, a ta se vrijednost također provjerava u aplikaciji *SAOImage ds9*. Ukoliko bi broj N_c bio uvelike različit, konačni podaci ne bi bili ispravni, tj. konačna bi fotografija bila previše ili premalo saturirana. Kako bi se ta vrijednost postigla, potrebno je prilagoditi vrijeme ekspozicije ovisno o količini svjetlosti koja ulazi u objektiv te je u ovom slučaju korišteno vrijeme ekspozicije od 0.2 s. Za razliku od *bias* fotografija, sa svakim od filtera potrebno je fotografirati *flat field*. Nadalje, oduzima se *master bias* od svake *flat field* fotografije i svaka se *flat field* fotografija dijeli s vlastitim medijanom. Tada se naslažu sve *flats* i uzima se medijan svakoga piksela. Navedeni proces daje *master flat*



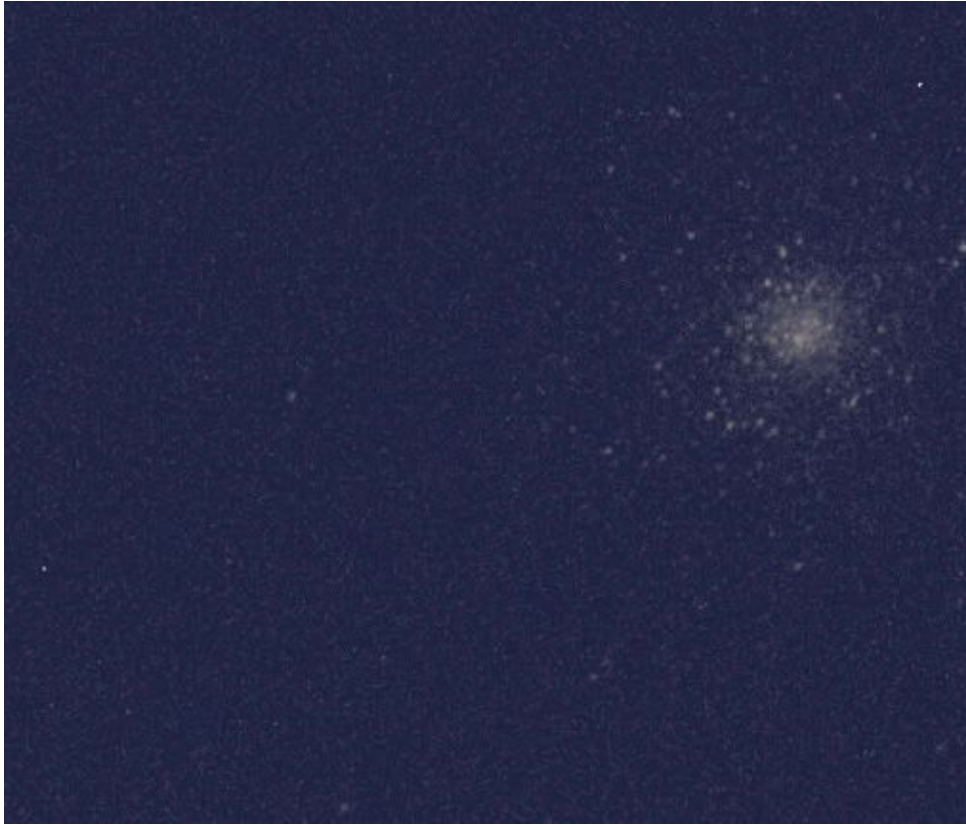
Slika 7: Sučelje aplikacije SAOImage ds9 gdje se u crvenom okviru očitava broj N_c .

field. Kodovi za izradu *master bias* i *master flat field* fotografija nalaze se u dodatku B.

Vrsta fotografija iz kojih dolaze podaci nazivaju se *lights*. Odabrano je vrijeme ekspozicije od 30 s te se koristi svaki od filtera.

Budući da je pri fotografiranju uočen problem s praćenjem objekta, odnosno teleskop ne prati objekt dovoljno dobro pa objekt „bježi” iz kadra tijekom duže ekspozicije, moguće je fotografije naslagati kako bi se dobila kvalitetnija konačna fotografija. Za taj proces korišten je kod iz dodatka A gdje su od niza 10 fotografiranih *lights* sa svakim od filtera odabrane po dvije najizoštrnije te naslagane.

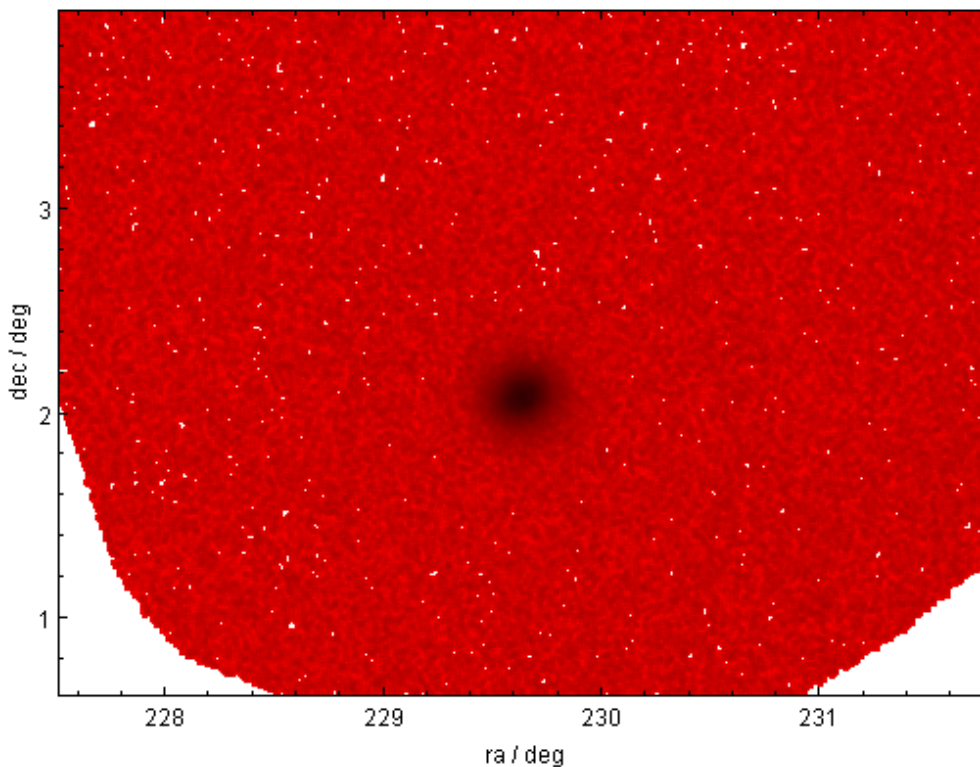
Kada se izradi konačna fotografija za svaki od filtera (kod u dodatku B), potrebno je stvoriti sliku u boji te se to postiže naslagivanjem triju fotografija. Najprije se u aplikaciji SAOImage ds9 putem *frame* → *rgb* pojedinačno svakoj fotografiji bira boja te su takve fotografije unešene u Adobe Photoshop gdje su i naslagane. Konačna fotografija nalazi se na slici 8.



Slika 8: *Obrađena astrofotografija kuglastog skupa M5.*

5 Obrada

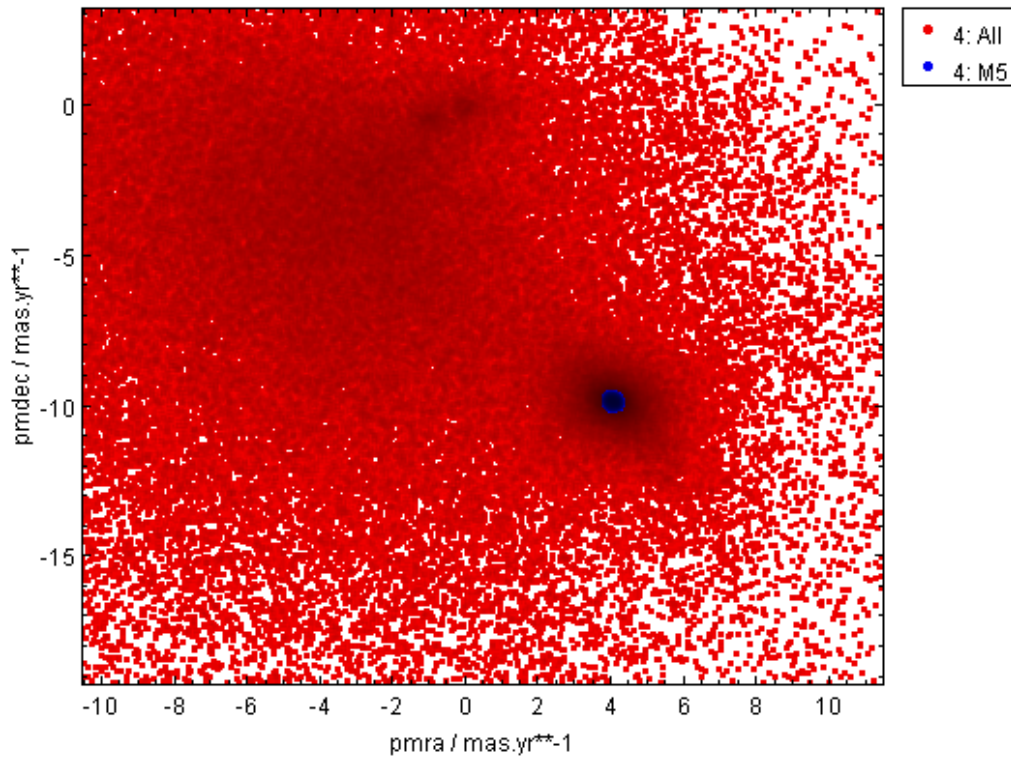
Iz dobivene astrofotografije, moguće je odrediti članove, udaljenost i starost skupa $M5$. S obzirom na nedostatke korištenih mjernih uređaja, preuzima se set podataka sa satelita Gaia (preuzet iz [12]) gdje su pohranjene vrijednosti paralakse, magnitude, pozicija na nebeskoj sferi i sl. te uz program *TOPCAT* moguće je dobiti grafičke prikaze preuzetih podataka. Podatke je moguće prikazati u ra-dec grafu sa slike 9 gdje se na x -osi nalaze vrijednosti rektascenzije, a na y -osi vrijednosti deklinacije u stupnjevima.



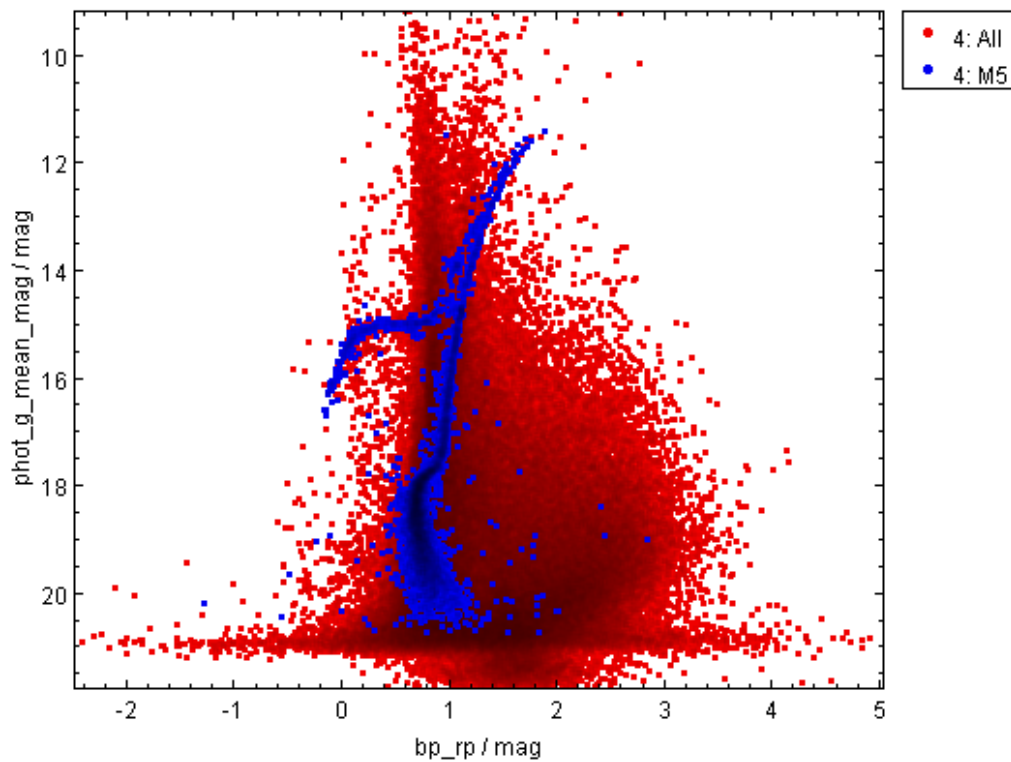
Slika 9: Rektascenzija-deklinacija graf preuzetih podataka sa satelita Gaia.

Ono što karakterizira isti skup je zajedničko vlastito gibanje (eng. *proper motion*). Vlastito gibanje opisuje prividno gibanje objekta na nebeskoj sferi gledano iz centra mase Sunčevog sustava. Na slici 10 nalazi grafički prikaz vlastitog gibanja preuzetih zvijezda. Tamniji, tj. gušći dio te slike predstavlja zvijezde s istim vlastitim gibanjem pa ih se označava plavom bojom i identificira kao kao vjerojatne članove skupa $M5$. Od korištenog seta podataka sa 148 540 zvijezda sa satelita, procijenjeno je 14 896 kandidata za članove skupa $M5$. Odabrane članove moguće je prikazati u boja-magnituda dijagramu sa slike 11. Za točno utvrđivanje članova potrebna je daljnja analiza pa vrijedi da je ovako određivanje gruba procjena.

Moguće je koristiti se Parsec-Colibri izohrone koje se preuzima iz [13], tj. teorijske linije koje povezuju zvijezde iste starosti. Za određivanje starosti, koristila bi se metoda najmanjih kvadrata pri čemu se traži izohrona koja najviše odgovara podacima o članovima odabranog skupa. Za određivanje udaljenosti skupa, koristile bi se vrijednosti paralakse pri čemu vrijedi da je udaljenost zvijezde obrnuto proporcionalna paralaksi.



Slika 10: Grafički prikaz vlastitog gibanja. Crvenom bojom označene su sve zvijezde preuzete sa satelita, a plavom bojom članovi skupa M5. Na osi x nalaze se vrijednosti rektascenzije, a na osi y deklinacije izražene u lučnim sekundama po godini.



Slika 11: Boja-magnituda dijagram za članove skupa M5. Na x-osi nalazi se BP-RP prikaz boja, a na y-osi vrijednosti magnituda prema Gaia G skali magnituda.

6 Zaključak

Zvezdani skupovi mogu biti otvoreni ili kuglasti i razlikuju se u obliku. Kuglasti skupovi su pravilnog oblika te im je prosječna gustoća puno veća od otvorenih skupova, odnosno oni se sastoje od većeg broja zvijezda nego otvoreni skupovi. Za analizu odabran je stari kuglasti skup *Messier 5* čija se astrofotografija izrađuje fotografirajući *bias*, *flats* i *lights* vrste fotografija, a za dobivanje konačne fotografije podatke je potrebno obraditi računalnim kodovima. Do nepravilnosti, tj. šumu vidljivom na fotografiji dolazi zbog mjernih uređaja, svjetlosnog onečišćenja u gradu, nečistoća unutar teleskopa i vanjskih utjecaja kao što su vjetar i gibanje ljudi pored teleskopa tijekom mjerenja. Korištena je montaža azimutalna te, uz postavljanje teleskopa, postaje nedovoljno stabilna što otežava praćenje objekta. Na montaži se nalazi libela koja često ne pokazuje ispravno pa je do poteškoća u praćenju objekta moglo doći i zbog neravno postavljenog teleskopa. Kod kamere, uočen je problem vezan uz *Cooler*, tj. u nekim se trenucima kamera ne bi hladila te je bilo nemoguće održavati konstantnu temperaturu za sve podatke. U programu ASISudio nije moguće ručno namještati vrijeme ekspozicije, nego se odabire neka od ponuđenih opcija. Uočeno je da bi za neke fotografije bilo pogodnije neko drugo vrijeme ekspozicije u intervalu između nekih ponuđenih opcija. S obzirom da su dobivene fotografije u obliku FITS datoteke, iz njih je moguće odrediti članove, starost i udaljenost odabranog skupa te radi preciznijih rezultata preuzeti su podaci sa satelita Gaia iz kojih su se odredili članovi skupa *M5*.

7 Literatura

- [1] NASA, URL: <https://science.nasa.gov/mission/hubble/science/explore-the-night-sky/hubble-messier-catalog/messier-5/> (14.8.2024.)
- [2] Dragan Roša: *Metode astronomskih istraživanja*, Alfa, Zagreb, 2010.
- [3] Roša D., Valenčić A., Drvar Z., Hržina M., Romštajn I., Maričić D. i Bašić M., *Astronomija 1*, web izdanje, Zagreb, Zvezdarnica Zagreb - Zagrebački astronomski savez, 2016.
- [4] Binney J., Merrifield M.: *Galactic astronomy*, Princeton University Press, 1998.
- [5] Bradley W. Carroll i Dale A. Ostlie: *An Introduction to Modern Astrophysics*, drugo izdanje, Cambridge University Press, 2018.
- [6] ESO, *Cesar*, URL: <https://www.cosmos.esa.int/web/cesar/the-hertzsprung-russell-diagram> (15.9.2024.)
- [7] Francis LeBlanc, *An Introduction to stellar astrophysics*, John Wiley and Sons, 2010.
- [8] *M5, SEDS Messier pages*, URL: <http://www.messier.seds.org/m/m005.html> (16.8.2024.)
- [9] NASA, Hubble's Messier 5, URL: <https://science.nasa.gov/missions/hubble/hubbles-messier-5/> (14.8.2024.)
- [10] Koraljka Mužić, *Optical imaging - data reduction basics*, Opažачka astronomija
- [11] M. R. Alarcon, J. Licandro, M. Serra-Ricart, E. Joven, V. Gaitan, R. de Sousa: *Scientific CMOS sensors in Astronomy: IMX455 and IMX411*, PASP, 2023.
- [12] European Space Agency, *Gaia Archive*, URL: <https://gea.esac.esa.int/archive/> (19.9.2024.)
- [13] Leo Girardi, *Osservatorio Astronomico di Padova*, URL: <http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd> (23.9.2024.)

A Kod za poravnavanje fotografija

```
import numpy as np
import scipy
import matplotlib.pyplot as plt
from astropy.io import fits

path='C:/Users/Dora/Desktop/astrophoto/lights3/'

#First load two other images:
data1 = fits.getdata(path+'Light_ASIIImg_30sec_Bin1_filter-3_25.0C_gain120...
..._2024-07-15_224322_frame0004.fit')
data2 = fits.getdata(path+'Light_ASIIImg_30sec_Bin1_filter-3_25.0C_gain120...
..._2024-07-15_224353_frame0005.fit')
head2 = fits.getheader(path+'Light_ASIIImg_30sec_Bin1_filter-3_25.0C_gain...
...120_2024-07-15_224353_frame0005.fit')

# Obtain rough position with the mouse
pos1 = [7322,2212]
pos2 = [7339,2210]

# Get centroid
from photutils.centroids import centroid_com, centroid_2dg
#load centroid libraries
subdata1 = data1[pos1[1]-50:pos1[1]+50,pos1[0]-50:pos1[0]+50]
#select subportion of 100x100 image
subdata2 = data2[pos2[1]-50:pos2[1]+50,pos2[0]-50:pos2[0]+50]
#select subportion of 100x100 image
plt.imshow(subdata1)
center1,center2 = centroid_2dg(subdata1)+pos1-[50,50],centroid_2dg...
...(subdata2)+pos2-[50,50]
ccenter1,ccenter2 = centroid_com(subdata1)+pos1-[50,50],centroid_com...
...(subdata2)+pos2-[50,50]
print(center1,center2)
print(ccenter1,ccenter2)

# Shift image
shiftdat = np.roll(data2,-int(np.round(center2[1]-center1[1])),axis=0)
#shift in y
shiftdata2 = np.roll(shiftdat,-int(np.round(center2[0]-center1[0])),axis=1)
#shift in x

# Save image
head2['PROCESS'] = 'shifted'
fits.writeto(path+'crveni.fit',shiftdata2,head2,overwrite=True)
```

B Kod za obradu astrofotografije

B.1 Master bias

```
import numpy as np
import os
from astropy.io import fits
from astropy.wcs import WCS
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.colors import LogNorm
import warnings
warnings.filterwarnings('ignore', category=UserWarning, append=True)
#This is to prevent it from printing out the warnings

path='C:/Users/Dora/Desktop/astrophoto/bias/'

#You need to run this cell in order to define the procedure master_bias.
#At this point nothing really happens (no master biases are produced), the
#procedure is executed (called) in the cell below, for each date.

def master_bias(data):
    #Purpose: create Master Bias frame
    #Input: A list of images to combine
    #Output: Master bias (median of all the bias images)

    img_list = [] #create empty list of images
    for file in data: #loop over all files listed in data
        #read each file
        hdu = fits.open(path+file)
        im = hdu[0].data #this reads the image
        img_list.append(im) #append this image to the list

    cube = np.array(img_list) #transform the image list into an array
    print('Cube dimensions:', cube.shape)

    # Save the array as fits - it will save it as an image cube
    #Usefull for checking. To make sure that the program does exactly what
    #you intend it to do, you should download this cube and inspect it in
    #ds9
    fits.writeto(temp_path+'bias_cube.fits', cube, overwrite=True)

    #Calculate the master bias as a median over the shortest axis of the
    #cube
    master_bias = np.nanmedian(cube,0)
    print('Master bias dimensions:', master_bias.shape)
    return master_bias
```

```

#Before running for the first time, create necessary folders

masterfile_path='C:/Users/Dora/Desktop/astrophoto/master_flat/'
temp_path='C:/Users/Dora/Desktop/astrophoto/tmp/'
#find all fits files in the path
files = [f for f in os.listdir(path) if f.endswith('.fit') and...
... '2024-07-15' in f and 'Bin1' in f]
print('Number of files in the folder: ',len(files))
print(np.sort(files)) #sortiranje po imenu

mbias=master_bias(files)
fits.writeto(masterfile_path+'masterbias.fits',mbias,overwrite=True)

```

B.2 Master flat

```

def master_ffield(data):
    img_list = [] #create empty list of images
    hdu_bias = fits.open(bias_path)

    for file in data:
        #loop over all files listed in data
        #read each file
        hdu = fits.open(path+file)
        im = hdu[0].data #this reads the image
        img_list.append((im-hdu_bias[0].data)/np.nanmedian(im-hdu_bias...
...[0].data)) #append this image to the list
    cube = np.array(img_list) #transform the image list into an array
    print('Cube dimensions:', cube.shape)
    # Save the array as fits - it will save it as an image cube
    # download this cube and inspect it in ds9
    fits.writeto(temp_path+'ffield_cube.fits', cube, overwrite=True)
    flat_field = np.nanmedian(cube,0)
    print('Flat field dimensions:', flat_field.shape)
    return flat_field

bias_path = 'C:/Users/Dora/Desktop/astrophoto/master_bias/masterbias.fits'
masterfile_path='C:/Users/Dora/Desktop/astrophoto/master_flat/'
temp_path='C:/Users/Dora/Desktop/astrophoto/tmp/'
#find all fits files in the path
files = [f for f in os.listdir(path) if f.endswith('.fit') and...
... '2024-07-15' in f and 'Bin1' in f]
print('Number of files in the folder: ',len(files))
print(np.sort(files)) #sortiranje po imenu

mflat=master_ffield(files)
fits.writeto(masterfile_path+'masterflat.fits',mflat,overwrite=True)

```

B.3 Konačna fotografija

```
# Define paths
bias_path = 'C:/Users/Dora/Desktop/astrophoto/master_bias/masterbias.fits'
flat_path = 'C:/Users/Dora/Desktop/astrophoto/master_flat/masterflat1.fits'
light_path = 'C:/Users/Dora/Desktop/astrophoto/lights1/plavi.fit'

# Check if files exist
print("Bias file exists:", os.path.isfile(bias_path))
print("Flat file exists:", os.path.isfile(flat_path))
print("Light file exists:", os.path.isfile(light_path))

# Open FITS files and get data arrays
try:
    hdu_bias = fits.open(bias_path)[0].data
    hdu_flat = fits.open(flat_path)[0].data
    hdu_light = fits.open(light_path)[0].data

    def final(light, bias, flat):
        result = (light - bias) / flat
        return result

    # Call the function with the data arrays
    processed_image1 = final(hdu_light, hdu_bias, hdu_flat)

    # Optionally, save the result as a new FITS file
    out_path = 'C:/Users/Dora/Desktop/astrophoto/processed_image1.fit'
    hdu = fits.PrimaryHDU(processed_image1)
    hdu.writeto(out_path, overwrite=True)

    print(f'Processed image saved to {out_path}')
except Exception as e:
    print(f"Error processing FITS files: {e}")
```