



# Merjenje razdalje do planetarnih meglic

Raziskovalna naloga s področja astronomije

Šolski mentor:

**Grega Celcar, prof. fiz.**

Gimnazija Jožeta Plečnika  
Ljubljana

Zunanji mentor:

**doc. dr. Jure Japelj, prof.**

Fakulteta za aplikativno naravoslovje  
Univerza v Novi Gorici,

Ljubljana, 2024

TA STRAN JE NAMERNO PRAZNA

## Zahvala

Eksperimentalni, slikovni in računski del sem opravila večino samostojno, a brez napotkov, pomoči bi bilo to težko izvedljivo.

Zahvaljujem se zunanjemu mentorju dr. Juretu Japelju, ki mi je omogočil, svetoval in pomagal pri opravljanju teleskopa na daljavo. Prav tako mi je bil v pomoč pri obdelavi podatkov in na kaj moram biti vse pozorna.

Zahvaljujem se tudi šolskemu mentorju Gregi Celcarju, ki me je ves čas spodbujal pri mojem delu in me usmerjal v pravilno smer.

Zahvaljujem se tudi ravnateljici Gimnazije Jožeta Plečnika Ljubljana, gospe Lidiji Žigon, za odobritev raziskovalne naloge.

Posebna zahvala gre tudi razredničarki Karolini Ivanec, ki mi je stala ob strani pri mojem raziskovanju ter opravičevala izostanke v šoli.

## Povzetek

V vesolju najdemo ogromno zanimivih astronomskih objektov. To so lahko galaksije, zvezde, meglice ... Ko jih opazujemo s teleskopi ali jih le opazujemo samo po slikah, ki so jih različni teleskopi posneli, se niti ne zavedamo, da dejansko opazujemo v preteklost.

Kako daleč v preteklost bomo opazovali je seveda odvisno od oddaljenosti astronomskih teles do nas.

Obstaja ogromno metod za določevanje razdalje astronomskih teles do nas. Vsaka izmed njih ima svoje lastnosti. Za opazovanje bližnjih teles je uporabna metoda trigonometrične paralakse, za bolj oddaljene pa že Hubblov zakon.

V naši raziskovalni nalogi smo se odločili, da bomo opazovali planetarne meglice. V prvi vrsti je to ena izmed stopenj skozi katero bo v prihodnosti prešlo naša zvezda, Sonce.

Zato smo pri opazovanju planetarnih meglic se vprašali, ali je možno z manjšim teleskopom, prav tako dobiti dovolj dobre podatke, da lahko določimo razdaljo od nas do planetarnih meglic. Uporabili smo metodo merjenja razdalje s paralakso in na koncu naše meritve in rezultate vrednotili z že znano literaturo.

Ključne besede: Planetarne meglice, merjenje razdalje s paralakso, teleskop

## **Abstract**

In the vastness of space, we encounter numerous fascinating astronomical objects. These can be galaxies, stars, nebulae... When we observe them through telescopes or simply view images captured by various telescopes, we often fail to realize that we are actually observing the past.

The extent to which we observe into the past naturally depends on the distance of astronomical bodies from us. There are numerous methods for determining the distance of astronomical bodies from us, each with its own characteristics. For observing nearby bodies, the method of trigonometric parallax is useful, while for more distant ones, Hubble's law comes into play.

In our research project, we have chosen to observe planetary nebulae. Primarily, this is one of the stages through which our star, the Sun, will pass in the future.

Therefore, in observing planetary nebulae, we asked ourselves whether it is possible to obtain sufficiently good data with a smaller telescope to determine the distance from us to planetary nebulae. We utilized the method of measuring distance through parallax, and in the end, we evaluated our measurements and results with existing literature.

**Keywords:** Planetary nebulae, measuring distance through parallax, telescope

## Kazalo vsebine

1. UVOD .....	1
2. Življenjski cikel zvezd .....	2
3. Navidezna magnituda.....	5
3.1. Merjenje navidezne magnitude .....	7
3.2. Površinski navidezni sij.....	9
4. Merjenje razdalj.....	9
4.1. Merjenje razdalje s paralakso .....	10
5. Oprema za opazovanje .....	12
6. Potek opazovanja.....	14
6.1. Priprava na slikanje meglice in standardne zvezde .....	16
6.2. Slikanje meglic in standardnih zvezd.....	18
7. Obdelava slik in rezultati .....	19
7.1. Meglica NGC 1535 in njena standardna zvezda .....	20
7.2. Meglica NGC 2392 in njena standardna zvezda .....	27
8. Sklep .....	29
9. Literatura .....	30

## Kazalo slik

Slika 1: Prikazuje rojstvo zvezd v meglici Carina oziroma NGC 3372.Slika je bila narejena s Hubblevim teleskopom .....	2
Slika 2: Hertsprung-Russelov diagram. Na vodoravni osi je absolutna temperatura površja zvezde, na navpični pa izsev zvezde. Največ zvezd se nahaja na glavni veji .....	3

Slika 3: Prikazuje evolucijo Sonca po koncu njenega življenja. Sonce se bo napihnilo v rdečo orjakinjo. Na koncu bo pa izumrlo kot .....	4
Slika 4: Leva slika prikazuje planetarno meglico NGC 2392, ki se nahaja v ozvezdju Dvojčka. To sliko je posnel Hubblov teleskop leta 1999. Desna slika prikazuje planetarno meglico NGC 1535, ki se nahaja v ozvezdju Eridan. To meglico je posnel Schulmanov teleskop leta 2012 ...	5
Slika 5: Prikazuje količino energije v izbranem prostorskem kotu okoli zvezde v določenem času skozi eno ploskev na razdalji $d$ , štiri ploskvice na razdalji $2d$ itd. ....	6
Slika 6: Prikazuje različne metode merjenj razdalj za različno oddaljene objekte. ....	9
Slika 7 Merjenje razdalje do meglice s paralakso. ....	10
Slika 8: Prikazuje graf površinskega sija v odvisnosti od polmera meglice.....	11
slika 9 a. Prikazuje teleskop GoT1 in b. prikazuje teleskop GoT2 .....	12
slika 10 Predstavlja primer mreže CCD senzorja. Vsak kvadraterk predstavlja slikovni element (piksel). ....	13
slika 11 Prikazuje približno sliko meglice NGC 2392. Tukaj vidimo kvadratke, ki so temnejši in svetlejši. Bolj kot je kvadraterk svetlejši, več fotonov je vpadlo na ta slikovni element in slika je tam bolj svetla. ....	13
slika 12 Leva slika prikazuje meglico NGC 1535, ki smo jo mi posneli s teleskopom. Desna slika je slika meglice slikana s Hubblovim teleskopom .....	14
Slika 13 Leva slika prikazuje NGC 2392, ki smo jo posneli z našim teleskopom. Slika na desni predstavlja meglico slikano s Schumanovim teleskopom .....	14
Slika 14 : Levi graf prikazuje vidljivost meglice NGC 1535, desni graf pa vidljivosti meglice NGC 2392. Na vodoravni osi je čas, na navpični osi pa koliko nad obzorjem se nahaja opazovani objekt. Polna črta predstavlja »potovanju« objekta po našem nebu. ....	15
Slika 15 : program Viking .....	16
slika 16 : program Voyager.....	17
Slika 17: Orodna vrstica programa AstrolmageJ.....	19
Slika 18: Zgornja slika predstavlja celotno posneto sliko. Spodnja slika prikazuje približno meglico, ki smo jo označili. Sliki sta odprti s programom AstrolmageJ.....	21
Slika 19: Okence s podatki. Iz te tabele preberemo številko za Source-Sky, ki je naša gostota energijskega toka.....	22
Slika 20: Standardna zvezda za meglico NGC 1535. ....	22

Slika 21: Tabela z vrednostmi za standardno zvezdo.....	23
Slika 22 : Čez meglico potegnemo premico, da izmerimo premer naše meglice.....	24
Slika 23 : Prikazuje profil intenzitete svetlobe za meglico.....	25
Slika 24 Zgornja številka predstavlja »Source-Sky« za standardno meglico. Spodnja številka predstavlja "Source-Sky" za meglico NGC 2392. ....	27
Slika 25: Prikazuje profil intenzitete svetlobe vzdolž premice.....	28



## 1. UVOD

Veliki del našega šolanja je obarvan z raziskovanjem in laboratorijskimi vajami, ki vzbujajo radovednost v človeku. Na urah fizike smo bolj osredotočeni na naš planet in kako se narava obnaša okoli nas. Vendar sem imela ves čas v mislih tudi vprašanja, kaj se dogaja izven našega planeta Zemlje.

Zato sem vzpostavila stik s profesorjem Juretom Japeljem, ki vodi nekomercialni projekt GoChile. Ta teleskop stoji na observatoriju El Saus v Čilu in nam omogoča, da iz Slovenije opazujemo nebo na južni polobli, kar pri nas ni mogoče.

Po različnih predavanjih in predstavitvi teleskopa sem se ogrela za planetarne meglice. Poleg prelepих barv in oblik meglic, me je začel zanimati njihov nastanek, ki je povezan z »umiranjem« zvezd. Pomemben podatek pri raziskovanju meglic je njihova oddaljenost od Zemlje. Ko poznamo oddaljenost, lahko izračunamo njen radij ter radij in izsev centralne zvezde (bele pritlikavke). Obenem brez oddaljenosti ne moremo oceniti mase plina v meglici, s tem pa ne vemo, koliko snovi zvezde majhne mase vrnejo v medzvezdni prostor. In še zadnji razlog: ko poznamo razdalje do večjega števila planetarnih meglic, izvemo, kako so porazdeljene po Galaksiji.

Meglice so običajno temne in zelo oddaljene, zato meritve oddaljenosti do meglic zahtevajo veliko opazovalnega časa na velikih teleskopih, uporabljati pa moramo tudi različne metode opazovanja (slikanje in spektroskopija). Z manjšimi teleskopi kot je GoChile je zato merjenje razdalj do meglic zelo težko, če ne celo nemogoče. A znanstveniki so nedavno našli povezavo med svetlostjo meglice in njenim radijem. Prek merjenja svetlosti meglice lahko iz te povezave izmerimo njen radij in posledično razdaljo do meglice. Z mentorjem in zunanjim mentorjem smo se dogovorili, da bom poskusila določiti razdaljo do dveh planetarnih meglic z uporabo opisane alternativne metode in tako preizkusila njeno uporabnost za manjše teleskope. S srednješolskim znanjem matematike in fizike se je ta tema zdela nalašč za mene.

## 2. Življenjski cikel zvezd

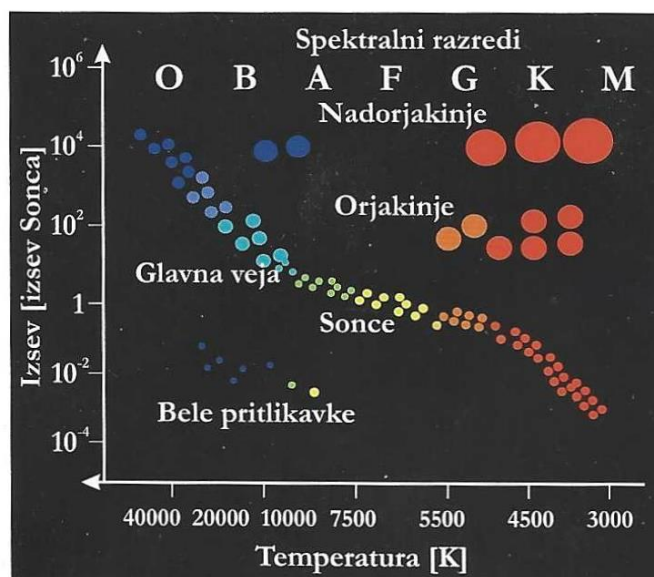
Življenje zvezd se začne iz zelo redkega, ampak zelo velikega medzvezdnega plinskega oblaka. Ker med delci v oblaku deluje privlačna gravitacijska sila, se začne sesedati sam vase [1]. Tako dobimo iz velikega medzvezdnega plinskega oblaka »porodnišnico« zvezd, ki jih na primeru prikazuje slika 1. V tem primeru gre za porodnišnice v meglici Carina, ki jo je posnel Hubblov teleskop [2].



*Slika 1: Prikazuje rojstvo zvezd v meglici Carina oziroma NGC 3372. Slika je bila narejena s Hubblovim teleskopom [2].*

Pri krčenju oblaka medzvezdne snovi začne naraščati temperatura in tlak. Zaradi naraščanja tlaka se krčenje oblaka začne zaustavljati, saj gravitacijski sili začne nasprotovati sevalnemu tlaku. Ko se plini dovolj segrejejo, približno  $15 \cdot 10^6 K$ , se v jedru sproži jedrska reakcija zlivanje jeder – fuzija [1,3]. Torej zvezda je rojena. Pri fuziji gre za zlivanje lahkih jeder v težja jedra. Glavna reakcija, ki poteka v jedru, je zlivanje vodika. Pri fuziji pa se sprošča energija, ki jo odnašajo nevtrini in fotoni elektromagnetnega valovanja [1].

Kakšne velikosti bo novorojena zvezda, je seveda odvisno od količine oblaka medzvezdne snovi, ki se je skrčil. Tako lahko iz plina nastanejo bolj masivnejše ali manj masivnejše zvezde. Takšne zvezde večino svojega življenja preživijo na glavni veji, ki ga prikazuje Hertzsprung-Russelov (HR) diagram (slika 2) [1].

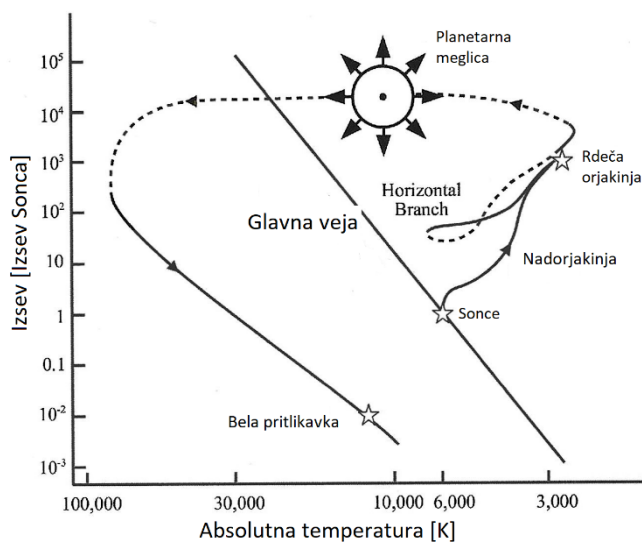


Slika 2: Hertzsprung-Russelov diagram. Na vodoravni osi je absolutna temperatura površja zvezde, na navpični pa izsev zvezde. Največ zvezd se nahaja na glavni veji [3].

Hertzsprung-Russellov (HR) diagram je svoje ime dobil po dveh astronomih, Ejnarju Hertzsprungu ter Henryju Norrisu Russllu, ki sta istočasno in neodvisno odkrila povezavo med izsevom zvezd in njeno površinsko (efektivno) temperaturo. Zvezde z različno efektivno temperaturo imajo različno barvo, glede na to pa jih delimo na sedem spektralnih razredov [4].

Skoraj vse zvezde se na HR-diagramu na glavni veji razporedijo v smeri, ki poteka iz zgornjega levega kota v spodnji desni kot diagrama. Vroča zvezda je tista, ki ima največji izsev in se nahaja v levem zgornjem kotu diagrama. Takšna zvezda se v HR-diagramu nahaja v zgornjem delu glavne veje. Potrebno je omeniti, da so te zvezde masivnejše od zvezd, ki jih najdemo v desnem spodnjem kotu glavne veje HR-diagrama.

Ko zvezdi zmanjka vodika, zvezda počasi zapusti glavno vejo. Kako jo bo zapustila, je odvisno od mase snovi in njene sestave. Na sliki 3 je prikazana pot Soncu podobni zvezdi ob koncu svojega življenja.



Slika 3: Prikazuje evolucijo Sonca po koncu njenega življenja. Sonce se bo napihnilo v rdečo orjakinjo. Na koncu bo pa izumrlo kot

Takšna zvezda se bo proti koncu svojega življenja napihnilo v rdečo orjakinjo. Njeno jedro se bo takrat stisnilo v belo pritlikavko, ki bo obdana s planetarno meglico. Tipične začetne mase zvezd, ki bodo tekom svoje evolucije šle skozi fazo planetarne meglice, so med 0,5 in 8,0 sončeve mase [3, 5]. Planetarne meglice po eni strani predstavljajo smrt zvezde, po drugi pa nadaljevanje življenja v belo pritlikavko [1].

Ime planetarnih meglic izhaja iz njihovih prvotnih odkritij, saj so sprva pri opazovanju mislili, da opazujejo planete – plinaste velikane. Meglico tvori približno okrogla, razširjajoča in sevajoča lupina ioniziranega plina. Ta nastane, ko molekule ali atomi prejmejo ali oddajo elektron in pri tem postanejo pozitivno ali negativno nabiti. Na sliki 4 sta prikazani dve meglici, NGC 1535 in NGC 2392 [6,7].



Slika 4: Leva slika prikazuje planetarno meglico NGC 2392, ki se nahaja v ozvezdju Dvojčka. To sliko je posnel Hubblov teleskop leta 1999 [6]. Desna slika prikazuje planetarno meglico NGC 1535, ki se nahaja v ozvezdju Eridan. To meglico je posnel Schulmanov teleskop leta 2012 [7].

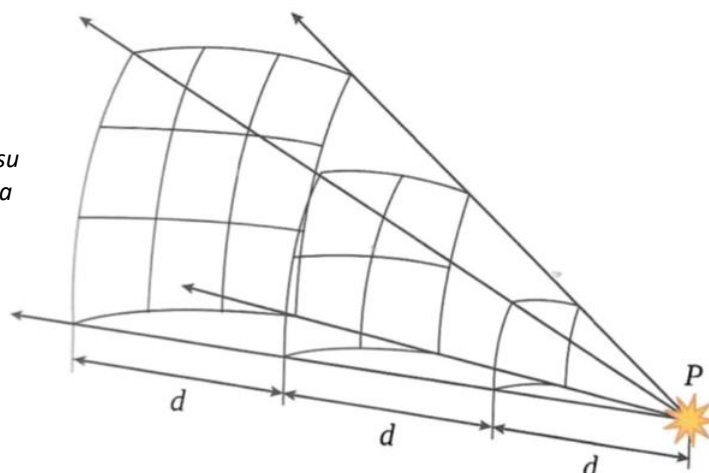
### 3. Navidezna magnituda

Navidezna magnituda je merilo za to, kako svetla se bo neka zvezda zdela opazovalcu na Zemlji. To povezujem z gostoto energijskega tok  $j$ , ki nam pove koliko energije bo telo oddalo vsako sekundo na neko površino. Enačba, ki to opisuje je

$$j = \frac{P}{S}, \quad (1)$$

kjer je  $P$  izsev (moč) zvezde ali količina oddane energija na sekundo in  $S$  površina ploskve [1]. Slika 5 prikazuje, da količina energije pri izbranem prostorskem kotu okoli zvezde gre v določenih časih skozi različno število ploskvic. Na razdalji  $d$  bi količina energije šla skozi eno ploskvico. Na razdalji  $2d$  pa gre količina energije skozi štiri ploskvice. To pomeni, da je gostota energijskega toka obratno sorazmerna s kvadratom razdalje [1].

Slika 5: Prikazuje količino energije v izbranem prostorskem kotu okoli zvezde v določenem času skozi eno ploskev na razdalji  $d$ , štiri ploskvice na razdalji  $2d$  itd.[1].



Magnituda je številka, ki predstavlja svetlost zvezde. Manjša kot je magnituda, bolj svetla je zvezda. Če je gostota energijskega toka dveh zvezd za 100-krat različna, potem je razlika v magnitudi med tema dvema zvezdama enaka 5 [1].

Norman Pogson je zgornji zapis preoblikoval v splošno enačbo (2)

$$m_1 = m_2 - 2,5 \log\left(\frac{j_1}{j_2}\right). \quad (2)$$

V enačbi je  $m_1$  navidezna magnituda zvezde,  $j_1$  gostota energijskega toka te zvezde,  $m_2$  je navidezna magnituda in  $j_2$  referenčna gostota energijskega toka druge zvezde. Navidezna magnituda je povezana z izsevom zvezde, vendar je potrebno upoštevati tudi razdaljo. Zaradi slabših opazovalnih razmer se lahko zgodi, da izmerimo večjo magnitudo in sklepamo, da je zvezda šibkejša kot v resnici je.

### 3.1. Merjenje navidezne magnitude

Izmerjena magnituda je odvisna od detektorja, teleskopa in vremenskih razmer. Zato moramo to magnitudo kalibrirati, če želimo dobiti navidezno magnitudo, ki jo lahko primerjamo z drugimi meritvami. Izmerjeni magnitudi pravimo instrumentalna magnituda, ki jo lahko določimo z (3)

$$m_{inst} = -2,5 \log(j), \quad (3)$$

kjer je  $j$  gostota energijskega toka, ki jo zaznamo z detektorjem. Kalibracijo naredimo s pomočjo standardne zvezde, za katero poznamo navidezno magnitudo. Preden lahko naredimo ta korak, moramo upoštevati dva popravka za instrumentalno magnitudo.

En popravek pride zaradi medzvezdne ekstinkcije. V medzvezdnem prostoru med nami in meglico je prah, ki siplje določen del svetlobe, zato do nas pride manj svetlobe. Torej mi izmerimo večjo magnitudo, kot v resnici je. Če hočemo ugotoviti kako svetla je ta meglica brez ekstinkcije, moramo k obstoječi instrumentalni napaki odšteti ekstinkcijo. To bomo označili z  $k_{mp}$ . Vrednost ekstinkcije dobimo s pomočjo zemljevida ekstinkcije.

Hkrati je potrebno upoštevati tudi atmosfersko ekstinkcijo. Med nami in vesoljem je atmosfera, ki svetlobo prav tako siplje. Koliko svetlobe se siplje je odvisno od zračne mase  $A_r$ . Više kot je objekt nad obzorjem, manj atmosfere je med nami in vesoljem. Ko je objekt v zenitu, je zračna masa enaka 1. Niže kot je objekt nad obzorjem, več atmosfere je med nami in vesoljem in večja je zračna masa. Hkrati se tudi razmere nad nebu spreminjajo. Zato moramo poznati še ekstinkcijski koeficient  $k$ . Ta koeficient je odvisen od valovne dolžine. Za naš observatorij je ta koeficient enak 0,1.

Če vse to upoštevamo v enačbi 3, dobimo (4) in z upoštevanjem ekstinkcijskega koeficienta (5)

$$m_{inst0} = m_{inst} - k_{mp} - k \cdot A_r. \quad (4)$$

$$m_{inst0} = m_{inst} - k_{mp} - 0,1 \cdot A_r.$$

S tem dobimo instrumentalno magnitudo meglice, ki bi jo izmerili, če bi imeli postavljen teleskop nad atmosfero.

Da naš teleskop umerimo je potrebno narediti še zadnji korak. V enačbo (5) vključimo še ničelno točko  $ZP$  (6)

$$m_{NGC} = m_{inst} - k_{mp} - 0,1 \cdot A_r + ZP. \quad (6)$$

Ničelno točko dobimo s pomočjo instrumentalne magnitude standardne zvezde. Standardne zvezde imajo natančno določene navidezne magnitude, ki jih najdemo v podatkovni zbirki na Vizier-ju ali Simbadu.

Najprej določimo instrumentalno magnitudo standardne zvezde  $m_{stan,ins}$  z enačbo (3). Ker je nad teleskopom in vesoljem atmosfera, moramo upoštevati atmosfersko ekstinkcijo. Tako dobimo (7)

$$m_{stan,ins_0} = m_{stan,ins} - 0,1 \cdot A_r \quad (7)$$

S tem dobimo instrumentalno magnitudo standardne zvezde nad atmosfero  $m_{stan,ins_0}$ . Da dobimo ničelno točko  $ZP$  na koncu odštejemo od instrumentalne magnitude vrednost magnitude  $m(H\alpha)$  iz podatkovne zbirke (8)

$$ZP = m_{stan,ins_0} - m(H\alpha) \quad (8)$$



### 3.2. Površinski navidezni sij

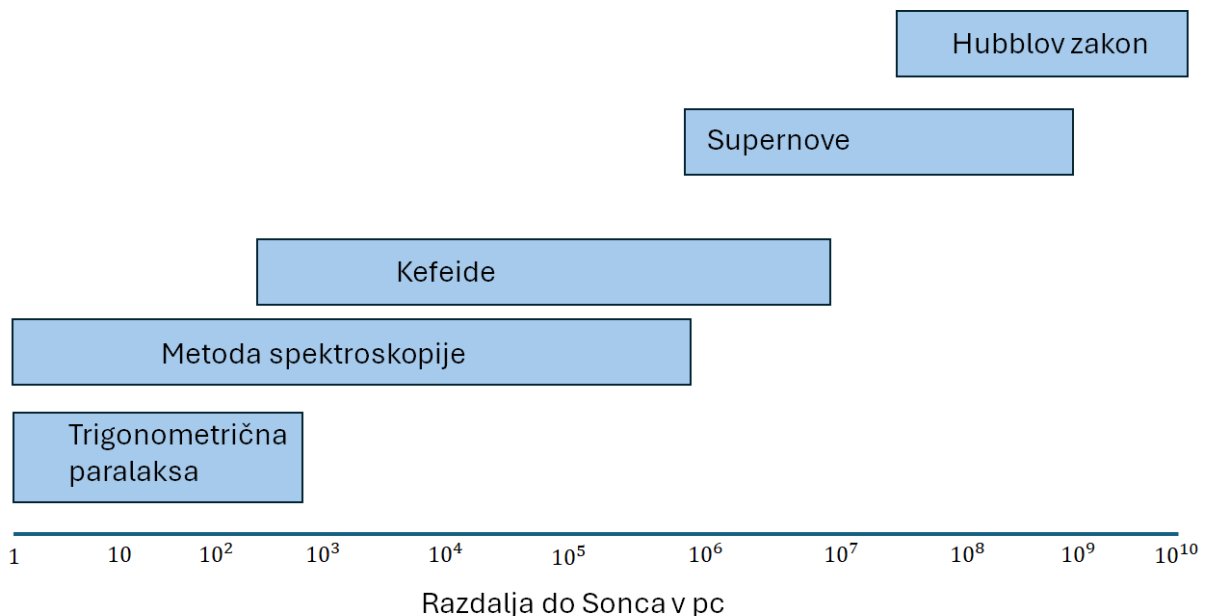
Sij pri razsežnih telesih, bi nam povedal le, kako svetla bi ta telesa bila, če bi bila vsa njihova svetloba zbrana v eni točki. Ker bi radi videli kako dobro je vidna, je potrebno primerjati njihove navidezne svetlosti. Navidezna svetlost  $S$  nam magnitudo porazdeli po površini. Izračunamo jo pa z enačbo (9) kot

$$S = m + 2,5 \cdot \log(A), \quad (9)$$

kjer je  $S$  navidezna svetlost podana v magnitudah na kvadratno kotno sekundo.  $A$  predstavlja površino vidnega dela v kvadratnih ločnih sekundah [8].

## 4. Merjenje razdalj

Poznamo več metod merjenj razdalj do vesoljskih objektov. Na sliki 6 so prikazane metode merjenj astronomskih razdalj. Za zvezde, ki so na razdalji približno 1000 parsekov (okrog 3300 svetlobnih let) oddaljene od nas, lahko uporabimo merjenje razdalje s paralakso. V naši raziskovalni nalogi bomo uporabili ravno to metodo merjenja razdalje, zato jo bomo v nadaljevanju opisali.

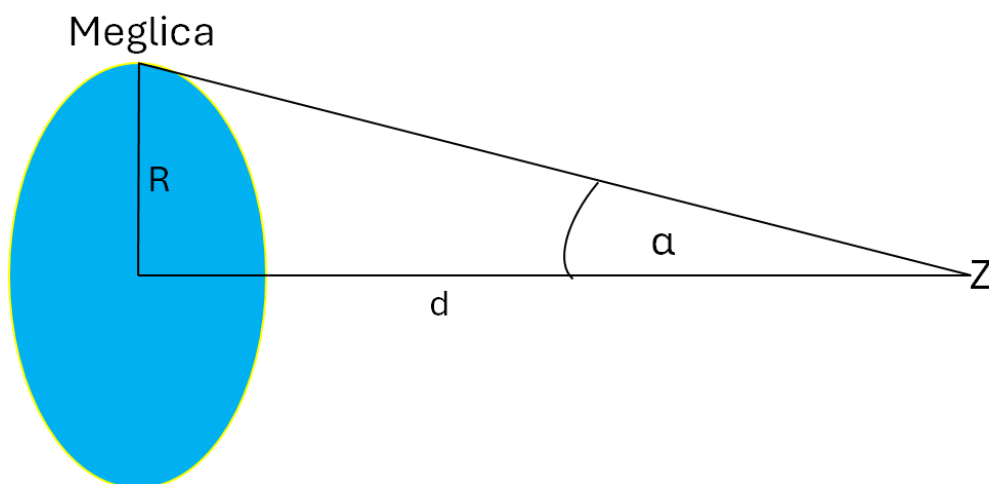


Slika 6: Prikazuje različne metode merjenj razdalj za različno oddaljene objekte. Povzeto po [9].

#### 4.1. Merjenje razdalje s paralakso

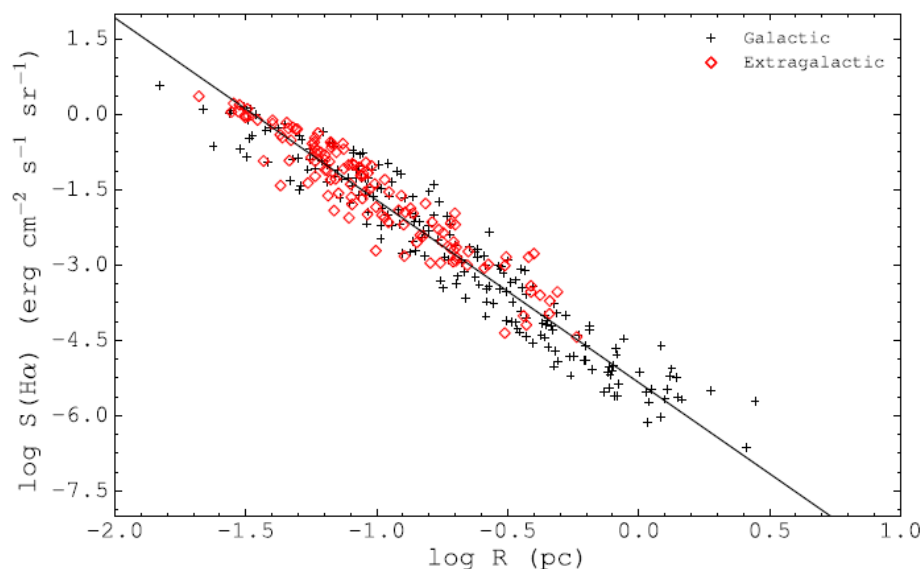
Opazovalec na Zemlji, točka Z na sliki 7, opazuje oddaljeno meglico pod zornim kotom  $\alpha$ , ki je kot v radianih. Pri tem je  $R$  polmer meglice in  $d$  razdalja meglice do opazovalca na Zemlji. Če poznamo zorni kot in polmer meglice, potem lahko s pomočjo kotne funkcije tangens določimo razdaljo od opazovalca do meglice. Enačba se glasi (10)

$$d = \frac{R}{\operatorname{tg}\alpha}. \quad (10)$$



Slika 7 Merjenje razdalje do meglice s paralakso.

Pri tem nam bo v pomoč članek, ki so ga napisali Frew, Parker in Bojičić [10]. Ugotovili so, da obstaja močna povezava med površinsko svetlostjo  $\log S_{H\alpha}$  meglice in njeno velikostjo  $\log R$ . Graf, ki so ga dobili prikazuje spodnja slika 8 [10].



Slika 8: Prikazuje graf površinskega sija v odvisnosti od polmera meglice.

Pri tem so dobili matematično linearno povezavo med površinski svetlostjo in velikostjo meglice. To povezavo opisuje (11) [10]

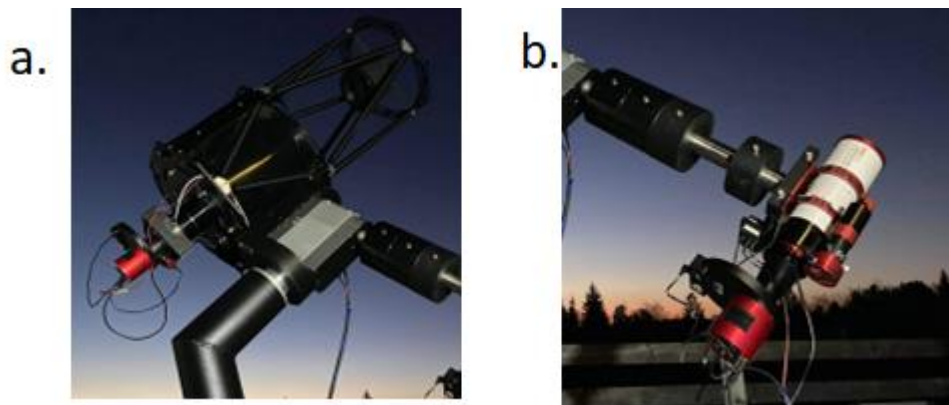
$$\log S_{H\alpha} = -3,63 \cdot \log R - 5,34$$

(11)

Komentar k enotam za površinsko svetlost. Enota erg ustreza  $10^{-7} J$ . Vemo, da  $\frac{J}{s}$  ustreza vatom. Vat na kvadratni centimeter pa predstavlja gostoto energijskega toka. Enota  $sr$  predstavlja steradian in predstavlja prostorski kot.

## 5. Oprema za opazovanje

Projekt GoChile sestoji iz dveh teleskopov na isti montaži. To sta teleskopa GoT1 in GoT2, ki sta prikazana na sliki 9.

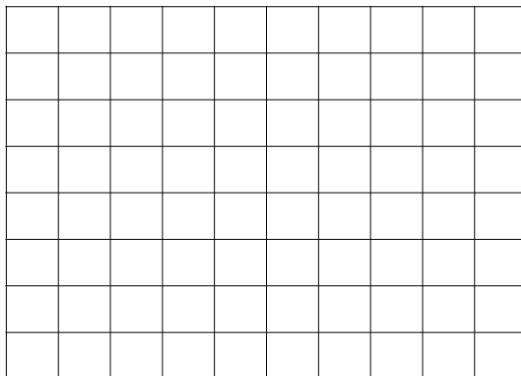


slika 9 a. Prikazuje teleskop GoT1 in b. prikazuje teleskop GoT2 [11].

GoT1 je teleskop večje optične cevi, 400 mm in  $f/6,5$ , in je namenjen podrobnemu raziskovanju galaksij, meglic, zvezdnih kopic, planetarnih meglic in zvezd. GoT2 ima manjšo optično cev, 72 mm  $f/5,6$ , in je namenjena širokokotnemu raziskovanju vesolja, predvsem fotografiranju objektov, ki zavzemajo večja območja neba, kot so meglice in razsute kopice [11]. Pri naši raziskovalni nalogi smo uporabili ta večji teleskop, ki ima goriščno razdaljo  $f = 2600$  mm. Pri opazovanju smo uporabili filter  $H\alpha$ . To je ozkopasovni filter, ki prepušča svetlobo z valovno dolžino 656 nm.

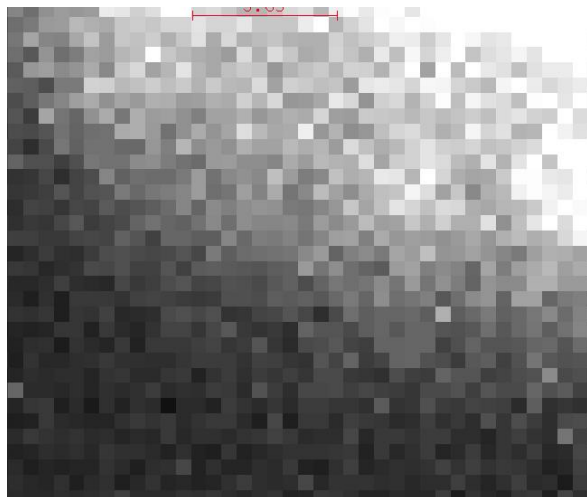
Teleskopa se nahajata na jugu puščave Atakama v Čilu. Nadmorska višina je 1560 metrov in to je eden izmed najboljših krajev z opazovalnimi razmerami na svetu. Observatorij in vsa opazovalna oprema so popolnoma avtomatizirani in omogočajo enostavno upravljanje iz Slovenije [11].

Kamera, ki smo jo pri opazovanju uporabljali je model ASI 6200. Kamera ima slikovni senzor CCD. CCD senzor si lahko predstavljamo kot mrežo (slika 10), kjer vsak kvadrataek predstavlja slikovni element (piksel) na katerega vpadajo fotoni.



*slika 10 Predstavlja primer mreže CCD senzorja. Vsak kvadrata predstavljata slikovni element (piksel).*

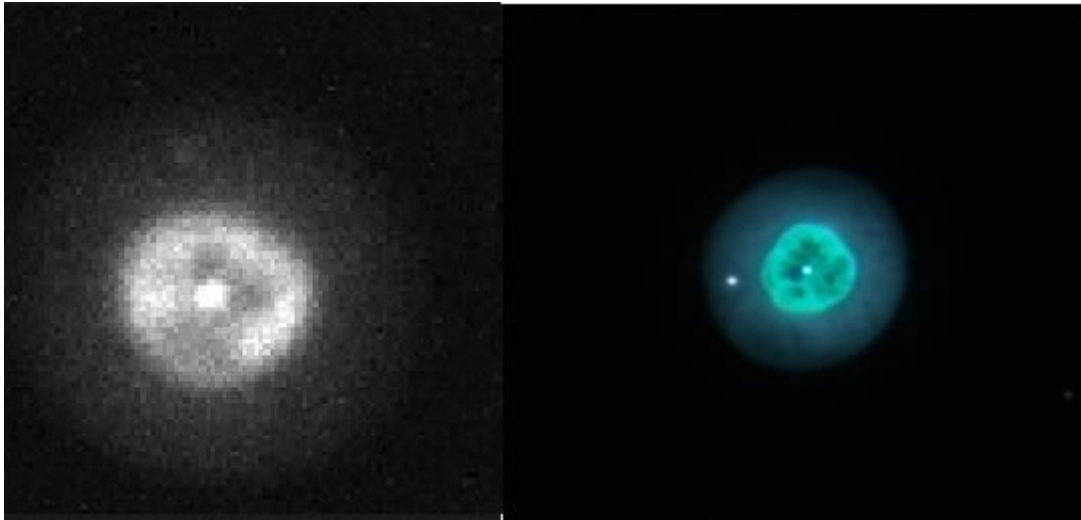
Ko foton pade na slikovni element, lahko iz atoma v slikovnem elementu izbije elektron. Te elektrone zaznamo kot signal. Več kot je bilo izbitih elektronov v slikovnem elementu, več fotonov je vpadlo na ta slikovni element in slika je tam svetlejša. Manj fotonov vpade na slikovni element, manj je izbitih elektronov iz atomov v slikovnem elementu, manj je slika svetla. Primer tega vidimo na sliki 11, ki prikazuje približno sliko naše opazovane meglice NGC 2392.



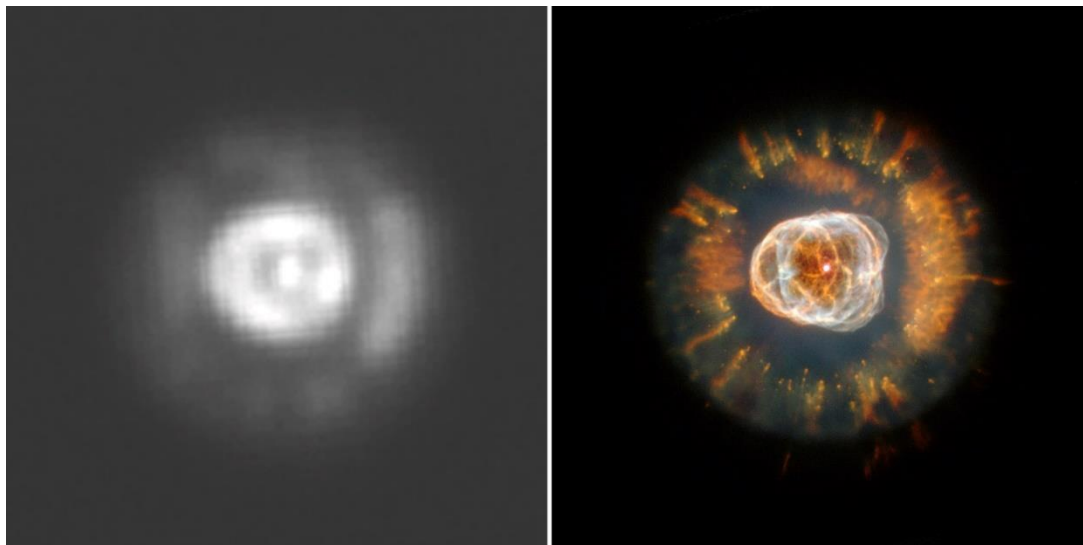
*slika 11 Prikazuje približno sliko meglice NGC 2392. Tukaj vidimo kvadratke, ki so temnejši in svetlejši. Bolj kot je kvadrata svetlejši, več fotonov je vpadlo na ta slikovni element in slika je tam bolj svetla.*

## 6. Potek opazovanja

Pred samim opazovanjem sem morala izbrati dve meglici, ki sta bili ustrezni za opazovanje v času decembra in januarja. V mojem primeru sem izbrala meglici NGC 1535 (slika 12) in NGC 2392 (slika 13).



*slika 12* Leva slika prikazuje meglico NGC 1535, ki smo jo mi posneli s teleskopom. Desna slika je slika meglice slikana s Hubblovim teleskopom [6].

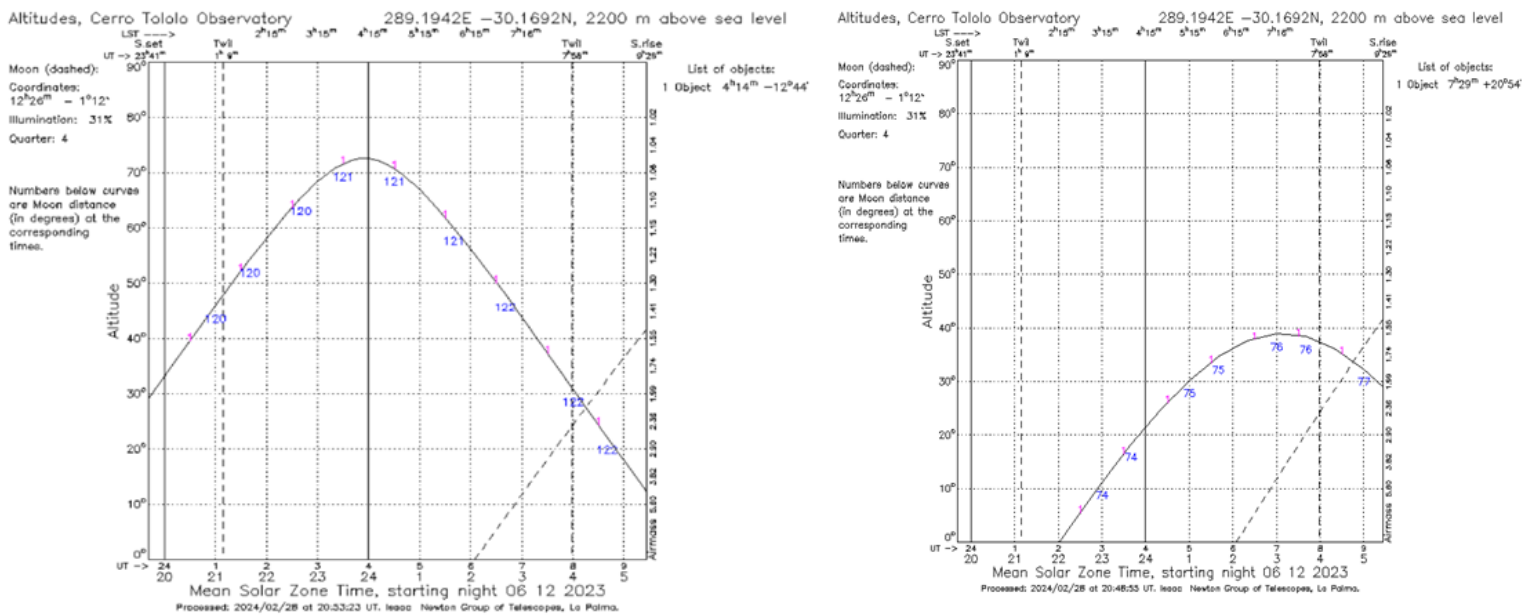


*Slika 13* Leva slika prikazuje NGC 2392, ki smo jo posneli z našim teleskopom. Slika na desni predstavlja meglico slikano s Schumanovim teleskopom [7].

Pogoji za izbiro meglice so bili naslednji:

- Magnituda mora biti relativno svetla, kar pomeni da njena magnituda mora biti manjša od 13.
- Meglica ne sme biti premajhna, niti prevelika. Na nebu se mora raztezati od 30 ločnih sekund do nekaj kotnih minut.
- Meglica more biti vidna iz Čila v obdobju opazovanja.

Vidnost planetarnih meglic sem poiskala s pomočjo spletne strani STARALT. Tam sem dobila graf vidljivosti. Da bo meglica vidna za opazovanje, mora biti vsaj 20 stopinj nad obzorjem in vsaj 30 stopinj od Lune (razen če je mlada). Primeri grafov vidljivosti mojih dveh meglic vidimo na sliki 14.



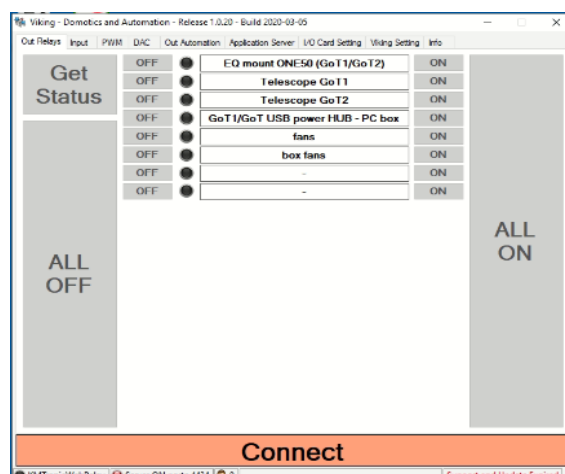
Slika 14 : Levi graf prikazuje vidljivost meglice NGC 1535, desni graf pa vidljivosti meglice NGC 2392. Na vodoravni osi je čas, na navpični osi pa koliko nad obzorjem se nahaja opazovani objekt. Polna črta predstavlja »potovanju« objekta po našem nebu.

## 6.1. Priprava na slikanje meglice in standardne zvezde

Opazovanje je potekalo od doma. Z osebnim računalnikom sem se preko programa AnyDesk-a povezala na računalnik, ki ima vse programe in dostop do teleskopov.

Raziskovanje je potekala v dveh korakih. Za vsako planetarno meglico sem posebej posnela slike in slike standardnih zvezd. Bilo je zelo pomembno, da so slike planetarne meglice in standardne zvezde posnete v istem času. V nasprotnem primeru bi bili pogoji opazovanja drugačni (navidezno premikanje Zemlje, atmosfera, oprema) in bi s tem dobili drugačne rezultate. Preden sem začela z opazovanji, sem pogledala kakšno je vreme v Čilu.

Prvi korak je bil, da sem vključila vse sisteme. To sem naredila s programom Viking, ki je prikazan na sliki 15. Prve štiri vrstice so morale biti vklopljene.



Slika 15 : program Viking

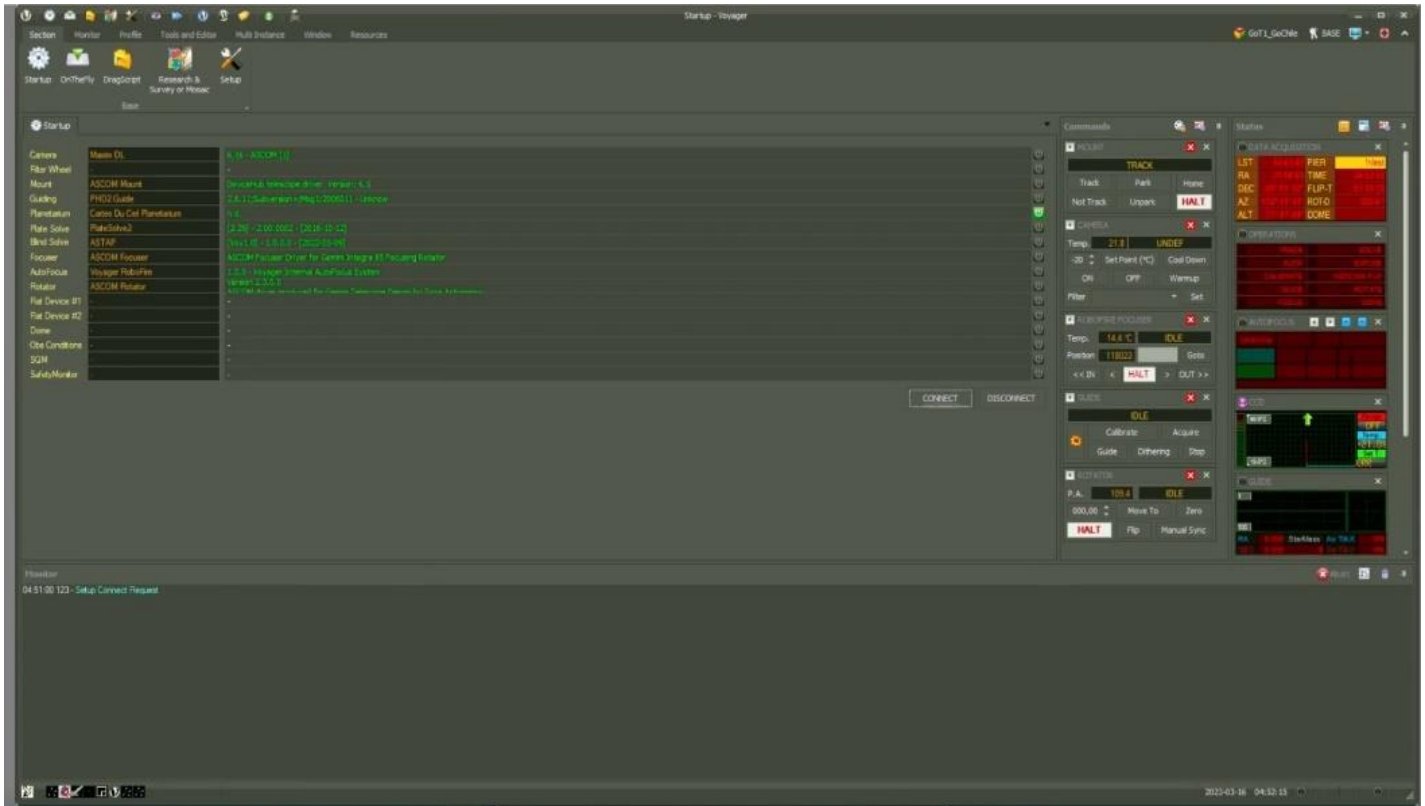
Naslednji korak je bil preverjanje, če je prava kamera vklopljena. To sem preverila s programom Maxim DL. Kamera, ki sem jo uporabljala, je ASI6200. To je kamera, ki jo uporabljamo pri večjem teleskopu. V programu sem morala preveriti, če imamo izbranih vseh sedem filtrov, ki se uporabljajo pri velikem teleskopu.

S programom PhD2 Guiding sem potem določila vodenje naši kameri. V tem programu smo morali vpisati goriščno razdaljo, ki je za velik teleskop 2600 mm.

Nazadnje sem odprla program Voyager, ki je vmesnik med vsemi programi in hardverom, ki jih potrebujemo za opazovanje.



V spodnji sliki 16 je monitor v katerem so se izpisale informacije, ki jih je teleskop počel. Na desni strani so okna s pomembnim informacijami.



slika 16 : program Voyager.

Kamero sem takoj ohladili na  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . S tem sem zmanjšala šum signala. Telega koraka ni bilo potrebno narediti, ker bi se kamera sama ohladila, ampak bi potem na slike čakala dlje časa.

## 6.2. Slikanje meglic in standardnih zvezd

Kot že omenjeno sem pri opazovanju meglic in standardnih zvezd uporabila H $\alpha$  filter. Razlog je v tem, da je bila tudi povezava med radijem in površinsko svetlostjo v članku [10], ki jo uporabljamo, pridobljena s snemanjem v tem filtru. Pri tem smo nastavili ekspozicijski čas na 60 s in bin 2.

Meglico NGC 2392 sem posnela 15-krat, njeno standardno zvezdo pa 5-krat.

Meglico NGC 1535 sem posnela 40-krat, njeno standardno zvezdo pa 5-krat.

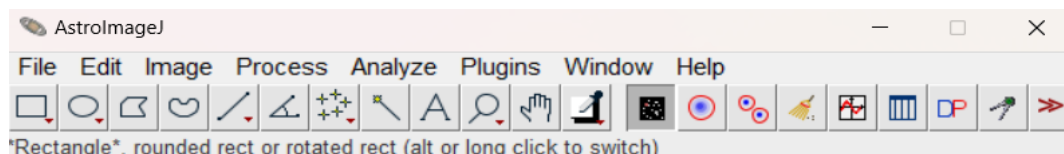
Ko sem posnela slike, sem morala slike kalibrirati. To sem naredila zato, da zmanjšamo napake zaradi lastnosti kamere in neenakomerne osvetlitve kamere. Morala sem posneti naslednje kalibracijske posnetke:

- Bias in Dark slike sem posnela s pomočjo programa Maxim DL.
- Flat slike oziroma slike ravnega polja sem posnela s programom Voyager.

Ko sem naredila Bias, Dark in Flat slike, sem slike meglic in standardnih zvezd s programom Astro Pixel Processor kalibrirala. Te slike sem potem shranila v 16 bitne slike.

## 7. Obdelava slik in rezultati

Ko sem naredila kalibracijo posnetkov je sledilo določevanje potrebnih količin za izračun razdalje do planetarnih meglic. Za to sem uporabila program AstrolmageJ. Ko odpremo program se nam odpre okence, ki jo prikazuje slika 17.



Slika 17: Orodna vrstica programa AstrolmageJ.

S programom sem odprla prvo sliko naše meglice. Koraki, ki sem jih naredila pri vsaki meglici so:

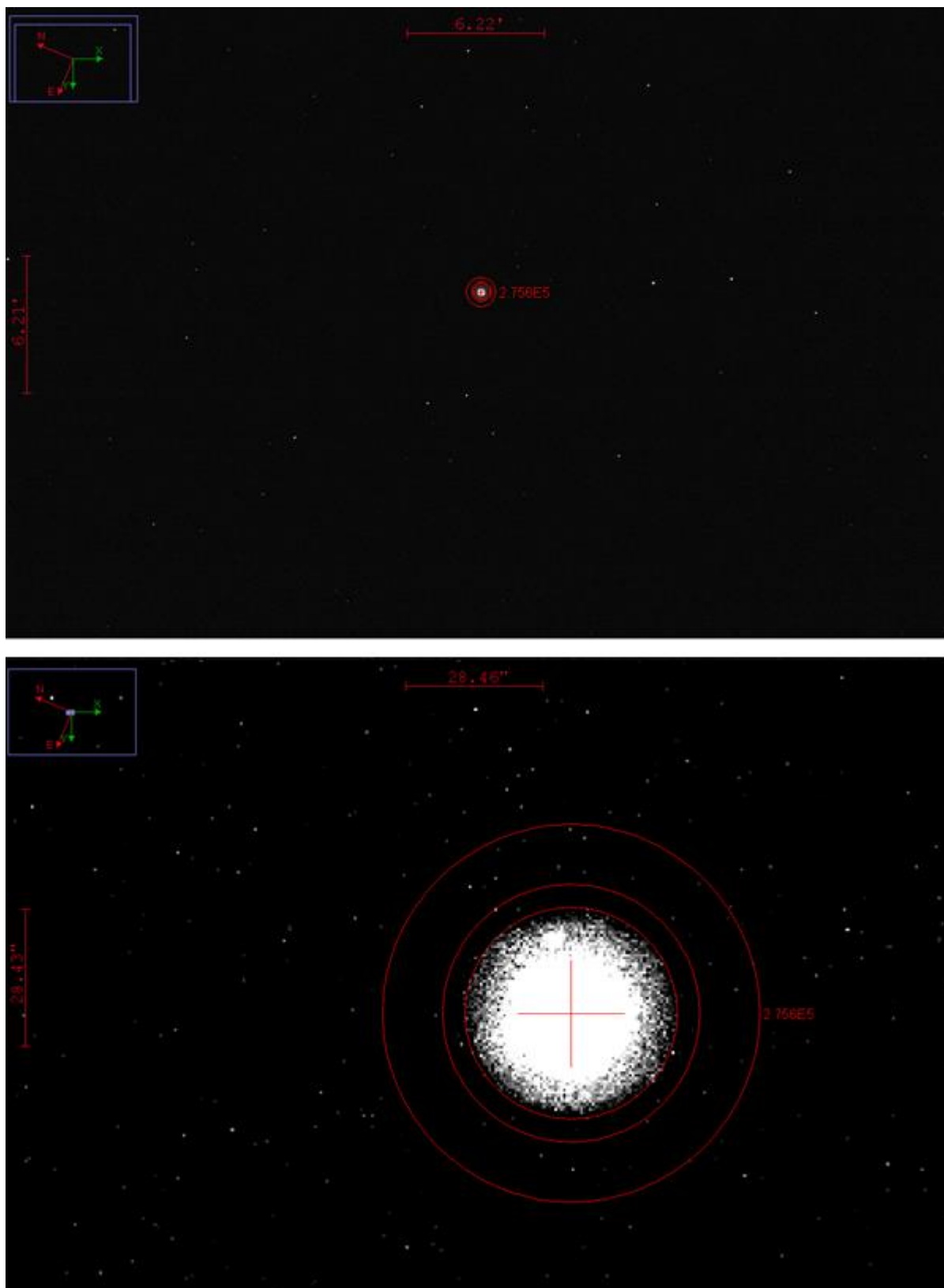
- Za meglico in standardno zvezdo sem določila »Source-Sky«. »Source-Sky« je celoten signal meglice.
- Izračunala ničelno točko  $ZP$  s pomočjo standardne zvezde.
- Določila sem umerjeno magnitudo meglice,  $m_{NGC}$
- Umerjeno magnitudo meglice sem pretvorila v gostoto energijskega toka,  $j_2$
- Izmerila sem velikost premera meglice v ločnih sekundah.
- Določila sem površinski sij,  $S$ .
- S pomočjo enačbe 11 sem izračunala polmer meglice,  $R$ .
- S pomočjo enačbe 10 sem izračunala razdaljo meglice do nas.

## 7.1. Meglica NGC 1535 in njena standardna zvezda

### NGC 1535

Zračna masa  $A_r$  opazovane meglice je bila na dan opazovanja 1,05, medzvezdna ekstinkcija v smeri meglice  $k_{mp}$  pa je bila 0,08.

V prvem koraku, s pomočjo slik za meglico (slika 18), sem »Source-Sky«. Meglico na sliki sem približala in jo označila s pomočjo »Aperture Photometry«. Okrog meglice se ustvarijo trije krogi. V notranjem krogu program sešteje vse fotone, ki prihajajo iz meglice. Vsak slikovni element ima določeno število fotonov. V prostoru med drugim in tretjim krogom pa izmerimo povprečen signal ozadja na posameznem slikovnem elementu. Na koncu nam program to odšteje in dobimo celoten signal zvezde, ki ga program poda v »Source-Sky«.



Slika 18: Zgornja slika predstavlja celotno posneto sliko. Spodnja slika prikazuje približno meglico, ki smo jo označili. Sliki sta odprti s programom AstrolmageJ.

Odrplo se mi je okence, kjer sem poiskala vrednost »Source-Sky«. V mojem primeru je ta številka 275642 (slika 19). Ta številka je tudi zapisana ob meglici sami na sliki 18.

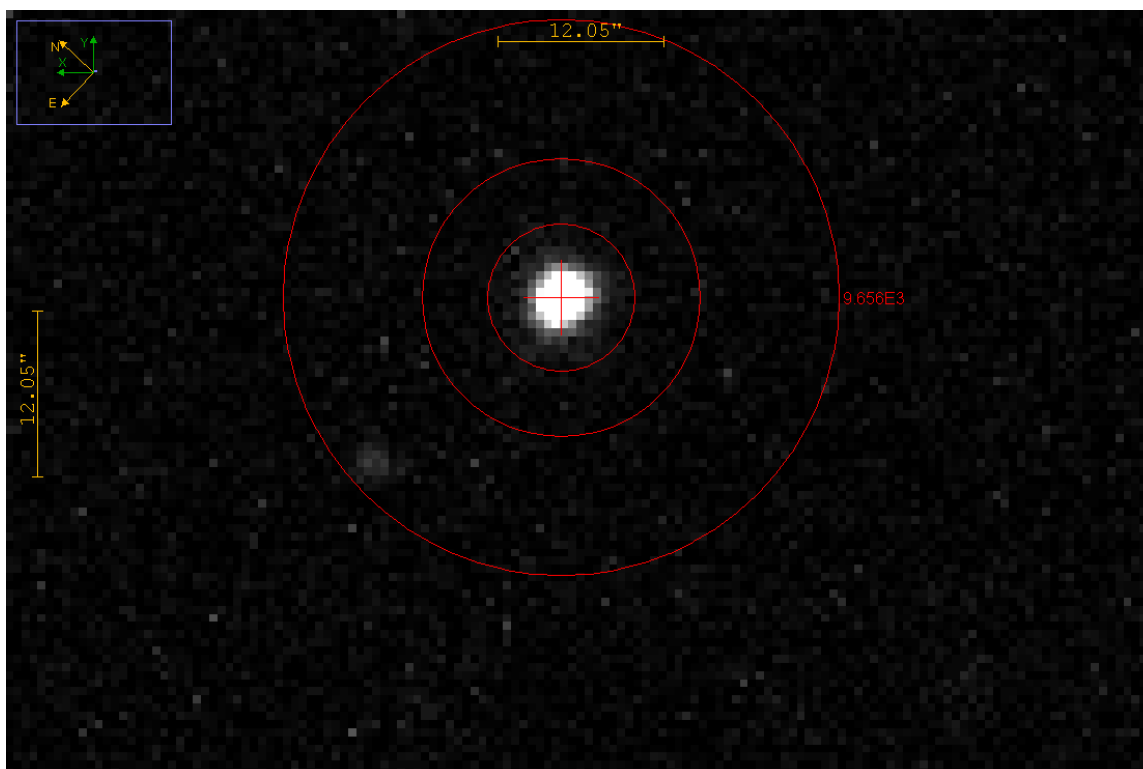
Source-Sky	N_Src_Pixels	Source_Error	Source_SNR	Peak	Mean
275641.53554348415	4300.84034276443	4762.885084942217	57.87280831421282	1077.0	64.09015763796323

Slika 19: Okence s podatki. Iz te tabele preberemo številko za Source-Sky, ki je naša gostota energijskega toka.

## STANDARDNA ZVEZDA

V mojem primeru je bila izbrana standardna zvezda z rekstanscenzijo 08:02:14 in deklinacijo -29:40:07. Njena zračna masa je bila 1,28. Navidezno določena magnituda  $m(H\alpha)$  določena iz podatkovne baze Vizier, je 11,18.

Na enak način sem določila celoten signal (»Source-Sky«) tudi za standardno zvezdo. Slika 20 prikazuje standardno zvezdo, ki smo jo označili na enak način kot prej meglico NGC 1535.



Slika 20: Standardna zvezda za meglico NGC 1535.

Celoten signal odčitamo ali iz slike 20 ali s pomočjo tabele na sliki 21. Za standardno zvezdo znaša celoten signal 9656.

Source-Sky	N_Src_Pixels	Source_Error	Source_SNR	Peak
9655.989779449068	254.46900494077326	940.8499551591989	10.263049624969373	1154.0

Slika 21: Tabela z vrednostmi za standardno zvezdo.

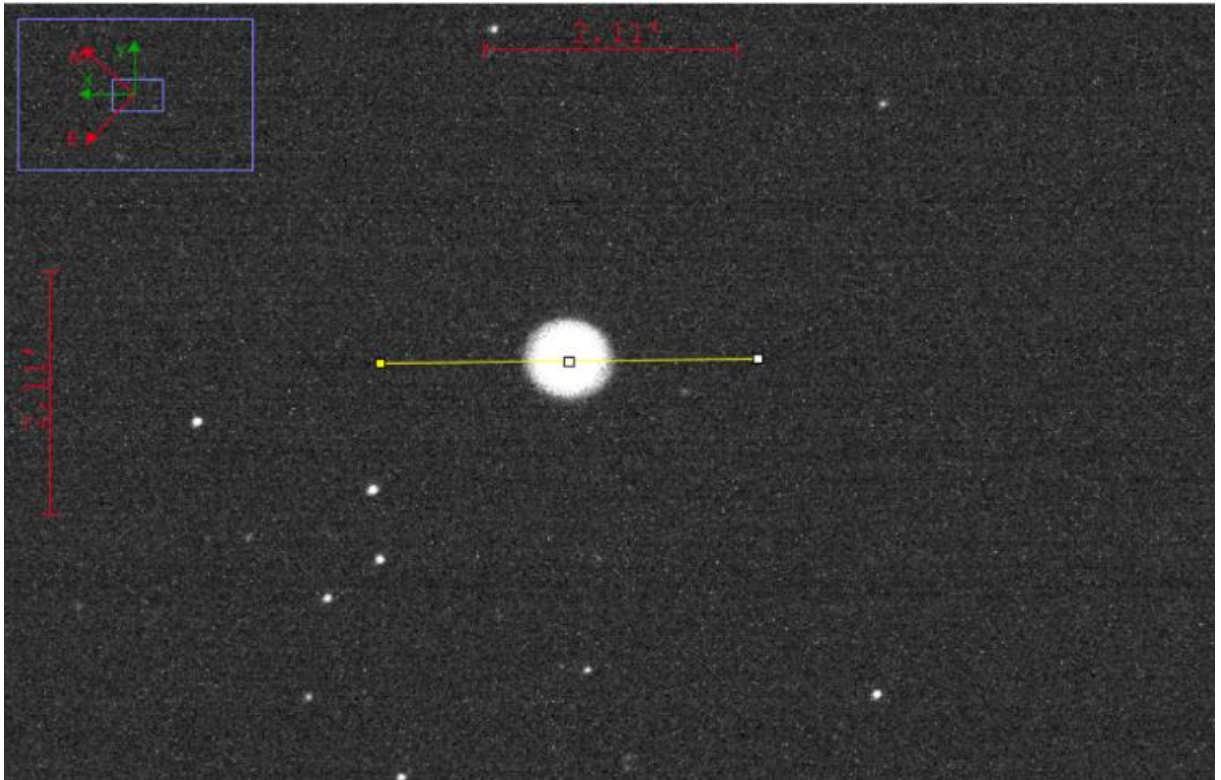
Sedaj lahko izračunam ničelno točko s pomočjo enačbe (8), kjer je upoštevana navidezna magnituda iz Vizierja in zračna masa. Ničelna točka  $ZP$  je v mojem primeru 21,27.

Z uporabo enačbe (6), sem izračunala umerjeno magnitudo meglice NGC 1535. Umerjena magnituda je

$$m_{NGC} = 7,56.$$

V naslednjem koraku sem umerjeno magnitudo meglice spremenila v gostoto energijskega toka. Ideja za to pa izvira iz članka [10] in premice (slika 8), ki prikazuje povezavo med površinsko svetlostjo in polmerom meglice. Umerjeno meglico sem morala spremeniti zaradi enot na navpični osi na sliki 8. To sem naredila tako, da sem iz enačbe (2) določila, da je  $m_1 = 0$  medtem ko je  $j_1$  gostota energijskega toka, ki velja za naš filter  $H(\alpha)$ . Za naš filter velja, da je  $j_1 = 1,82 \cdot 10^{-7} \frac{erg}{cm^2s}$ . S pomočjo enačbe (2) izračunamo  $j_2$  in dobimo  $1,72 \cdot 10^{-10} \frac{erg}{cm^2s}$ .

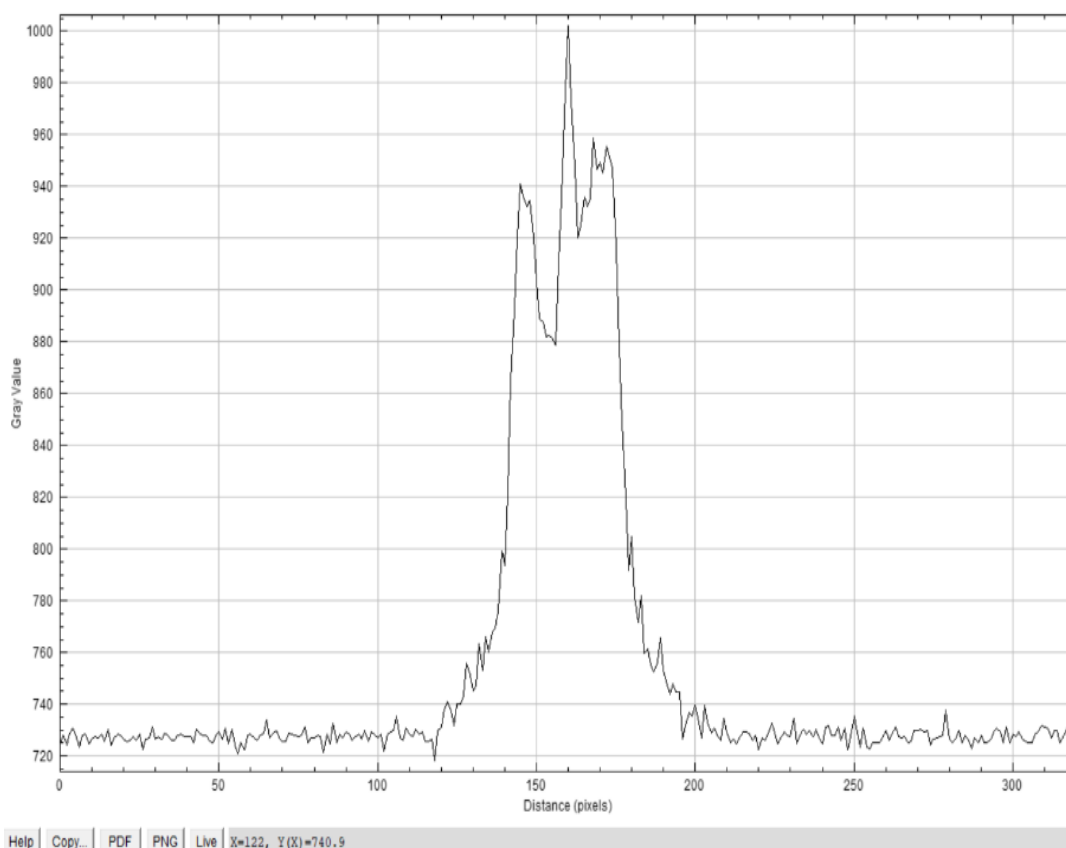
Velikost meglice sem izmerila s pomočjo premice, ki sem jo potegnila čez meglico (slika 22). S pomočjo tega sem določila kolikšen je premer naše meglice v slikovnih elementih.



Slika 22 : Čez meglico potegnemo premico, da izmerimo premer naše meglice.

V orodni vrstici sem izbrala »Analyze« in potem še »Plot Profile«. S tem sem dobila graf (slika 23), ki prikazuje intenziteto svetlobe vzdolž te premice. Na navpični osi je nanežena svetlost posameznega slikovnega elementa. Na vodoravni osi so pa nanešeni slikovni elementi. Iz grafa vidimo, da intenziteta svetlobe začne naraščati pri približno 120 slikovnem elementu in se zmanjša na prvotno vrednost pri približno 195 slikovnem elementu.





Slika 23 : Prikazuje profil intenzitete svetlobe za meglico.

Če ti dve vrednosti odštejemo dobimo premer meglice, ki jo sestavlja približno 75 slikovnih elementov. Z upoštevanjem, da en slikovni element ustreza 0,592 arcsec, lahko določimo opazovani kot premera meglice v ločnih sekundah. Na sliki 7 to ustreza kotu  $2\alpha$ . Tako dobimo da je kot premera meglice pod katerim opazujemo v ločnih sekundah enak

$$2\alpha = 0,592 \text{ arcsec} * 75 = 44,40 \text{ arcsec}.$$

Opazovani kot  $\alpha$  polmera ustreza 22,2 arcsec. To je kot, ki ustreza  $1,1 \cdot 10^{-4}$  radianom.

Da sem določila površinski sij sem najprej izračunala površino  $A$  v kvadratnih ločnih sekundah za našo meglico. Meglica je podobna krogu, zato sem uporabila enačbo za izračun ploščine kroga.

$$A = \pi \cdot \alpha^2 = \pi \cdot (22,2 \text{ arcsec})^2$$

$$A = 1548 \text{ arcsec}^2$$

S pomočjo enačbe (9) sem izračunala površinski navidezni sij  $S$ , ki znaša  $15,54 \frac{mag}{arcsec^2}$ .

Ker nas zanima gostota energijskega toka po prostorskem kotu, sem morala določiti sij na steradian. To sem naredila tako, da sem gostoto energijskega toka delila s površino krogle, kjer kot  $\alpha$  podan v radianih.

$$S_{NGC\ 1535} = \frac{j_2}{4 \cdot \pi \cdot \alpha^2}$$
$$S_{NGC,1535} = 1,18 \cdot 10^{-3} \frac{erg}{cm^2 s sr}$$

Enota tega površinskega sija se sedaj popolnoma ujema z enoto na navpični osi na sliki 8. To številko sem logaritmirala in dobila, da je  $\log(S_{NGC,1535}) = -2,94$

Enačbo (11) sem obrnila in izrazila  $\log R$ . Potem sem izračunala polmer meglice  $R$  v parsekih. Polmer meglice NGC 1535 je 0,22 parsekov.

Na koncu sem uporabila še enačbo (10) in iz nje izrazila  $d$ , ki predstavlja razdaljo med meglico in Zemljo.

**Razdalja planetarne meglice NGC 1535 je približno 2000 pc.**

Prava razdalja meglice NGC 1535 je  $2190 pc \pm 370 pc$  [10].

Iz tega lahko vidimo, da moja izračunana razdalja leži znotraj intervala prave vrednosti te meglice.

## 7.2. Meglica NGC 2392 in njena standardna zvezda

Zračna masa  $A_r$  meglice NGC 2392 je bila na dan opazovanja 1,93, medzvezdna ekstinkcija v smeri meglice  $k_{mp}$  pa je bila 0,1.

Standardno zvezdo, ki sem jo uporabila je imelo rektascenzijo 09: 01: 45 in deklinacijo -49: 38:54. Zračna masa  $A_r$  standardne zvezde je bila na dan opazovanja 1,28. Njena navidezno določena magnituda  $m(H\alpha)$  znaša 11,8.

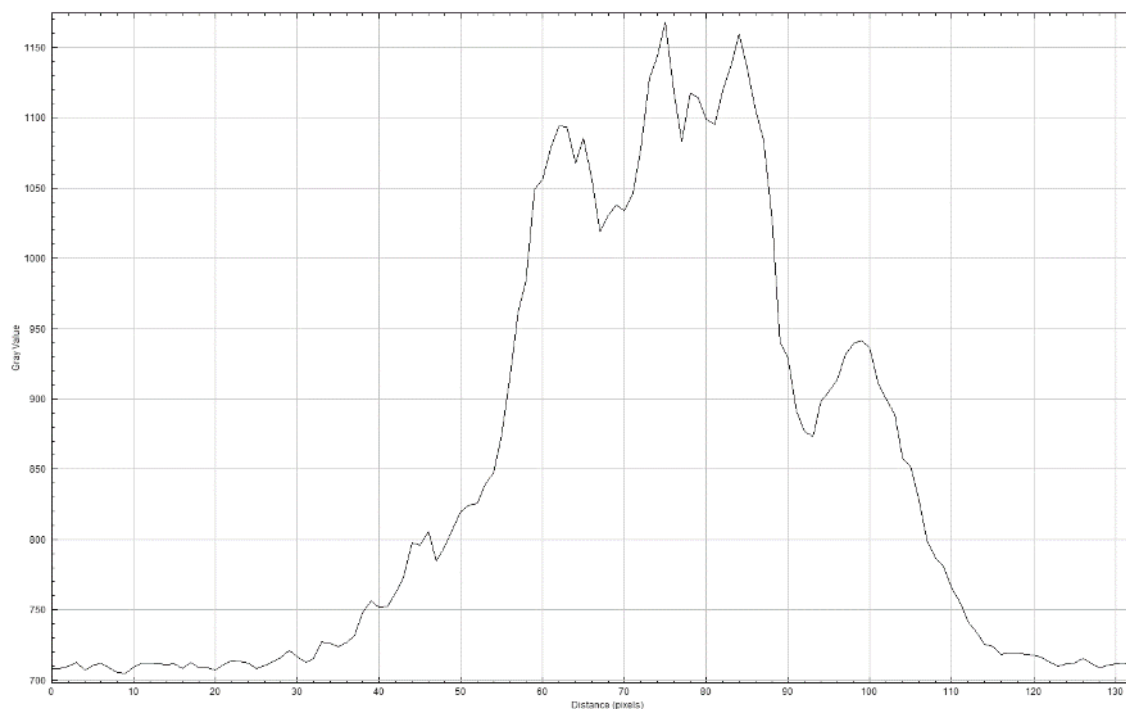
Postopek izpeljave in izračuna je enak kot pri prejšnji meglici, zato ne bomo opisovala podrobno vseh korakov.

- Celoten signal (»Source-Sky«) za meglico NGC 2392 znaša 609417 in za standardno zvezdo 6145 (slika 24).

Source-Sky	N_Src_Pixels	Source_Error	Source_SNR	Peak
6144.72807827912	314.15926535897944	1068.428382399657	5.751183869225049	874.0
609417.2122822865	5026.548245743666	5595.825927101733	108.90567723537536	1188.0

Slika 24 Zgornja številka predstavlja »Source-Sky« za standardno meglico. Spodnja številka predstavlja "Source-Sky" za meglico NGC 2392.

- Z vsemi popravki pri standardni zvezdi dobim ničelno točko ZP 21,40.
- Umerjena instrumentalna magnitude meglice je 6,64.
- Izmerjena velikost meglice je približno 85 slikovnih elementov (slika 25). Polmer v ločnih sekundah znaša 25,16" kar je  $1,2 \cdot 10^{-4}$  radiana.



Slika 25: Prikazuje profil intenzitete svetlobe vzdolž premice

- Pretvorjena umerjena magnituda v gostoto energijskega toka znaša  $4,00 \cdot 10^{-10} \frac{erg}{cm^2 s}$ .
- Površina  $A$  v kvadratnih ločnih sekundah znaša  $1989 \text{ arcsec}^2$ , površinski navidezni sij  $S$  znaša  $14,89 \frac{mag}{arcsec^2}$ .
- Sij na steradian znaša  $2,14 \cdot 10^{-3} \frac{erg}{cm^2 s sr}$ .
- Polmer meglice je  $0,18 \text{ pc}$ .
- **Razdalja od nas do meglice NGC 2392 je približno 1500 pc.**

Prava razdalja te meglice je  $1700 \text{ pc} \pm 500 \text{ pc}$  [10]

Pri obeh meglicah sem dobila vrednosti razdalje znotraj prave razdalje podane z literaturo. S tem potrjujem, da je tudi z manjšimi teleskopi, kot je GoChille, možno določiti razdaljo do meglic.

## 8. Sklep

V tej raziskovalni nalogi sem želela ugotoviti ali je možno z manjšimi teleskopi izmeriti razdaljo do meglic. Meglice so običajno temne in tudi precej oddaljene. Pri tem sem uporabila teleskop GoChile.

Z njim sem opazovala dve meglici, NGC 1535 in NGC 2392 in izbrani standardni zvezdi. Da sem dobila razdaljo do obeh meglic sem uporabila nedavno objavljen članek [10], ki opisuje povezavo med svetlostjo meglice in njenim radijem.

Tako sem za meglico NGC 1535 izmerila razdalo približno 2000 parsekov. Prava vrednost za to meglico je  $2190 \text{ pc} \pm 370 \text{ pc}$  objavljena v članku [10]. Izmerjena oddaljenost meglice NGC 2392 je bila približno 1500 parsekov. Prava vrednost za to meglico  $1700 \text{ pc} \pm 500 \text{ pc}$  [10].

Iz zgornjih primerjav med mojo izmerjeno oddaljenostjo in pravo oddaljenostjo lahko potrdim, da je tudi z manjšim teleskopom precej enostavno mogoče izmeriti razdaljo do planetarnih meglic.

Vendar se zavedam, da bi bilo dobro to metodo preveriti še na večjem številu planetarnih meglic. Prav tako sta bili moji dve planetarni meglici dokaj sferični, kar pomeni, da bi bilo potrebno najti kakšno planetarno meglico, ki ni sferična. S tem bi potem dobila bolj trdnejše zaključke ali je mogoče z manjšim teleskopom izmeriti razdalje do planetarnih meglic.

Omeniti moram tudi, da sem pri vsaki meritvi uporabila le eno sliko planetarne meglice in prav tako eno sliko standardne zvezde. Pri pregledu vseh slik sem ugotovila, da ni nekih razlik v opazovanju in da je celoten signal bolj ali manj pri vseh slikah enak.

## 9. Literatura

- [1] R. Snoj, *Astronomija za gimnazije*, Zveza za tehnično kulturo Slovenije, Ljubljana, 2023
- [2] *Meglica Carina* (2010): <https://science.nasa.gov/mission/hubble/science/science-highlights/exploring-the-birth-of-stars/> (ogled 27. 2.2024)
- [3] A. Mohorič, *Fizika 3: Učbenik za fiziko v 3. letniku gimnazij in štiriletnih strokovnih šol*, Mladinska knjiga Založba, Ljubljana, 2015
- [4] R. Vogrinčič in drugi, *Hertzsprung-Russlov diagram zvezdnih kopic*, *Fizika v šoli št. 2/2021*, **26**, Zavod Republike Slovenije za šolstvo, Ljubljana, 2021
- [5] K. R. Lang, *The Life and Death of Stars*, cambridge University Press, New York, 2013
- [6] NGC 1535 (1999), [https://en.wikipedia.org/wiki/Eskimo\\_Nebula#/media/File:Ngc2392.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Eskimo_Nebula#/media/File:Ngc2392.jpg), (ogled 18. 2. 2024)
- [7] NGC 2392 (2012), [https://en.wikipedia.org/wiki/NGC\\_1535#/media/File:N1535s.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/NGC_1535#/media/File:N1535s.jpg), (ogled 18. 2. 2024)
- [8] D. J. Adams, A. Cayless, A. W. Jones idr., *Galaxies and Cosmology*, The Open University, Velika Britanija, 2004
- [9] GoChille, <https://gochile.si/teleskop-in-oprema/>, (ogled 15. 2. 2024)
- [10] D. J. Frew, Q. A. Parker, I. S. Bojčić, *The H $\alpha$  surface brightness-radius relation: a robust statistical distance indicator for planetary nebulae*, Oxford University Press, 2015