

Raziskovalna naloga

Merjenje oddaljenosti zvezde Wolf 359 s pomočjo paralakse

Raziskovalno področje: fizika in astronomija

Avtor: Damjan Dovnik

Mentor: mag. Marko Žigart

Srednja šola Slovenska Bistrica, januar 2021

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem svojemu mentorju, mag. Marku Žigartu, ki mi je pomagal, me usmerjal in mi dajal navodila ter priskrbel eno izmed potrebnih fotografij za moje meritve. Zahvaljujem se tudi lektorici Nataliji Majerič, ki si je vzela čas za lektoriranje moje naloge.

KAZALO

1 UVOD	5
2 TEORETIČNI UVOD	6
2.1 Paralaksa.....	6
2.2 Wolf 359	7
2.3 New Horizons	7
3 MERITVE, IZRAČUNI IN REZULTATI	9
4 ZAKLJUČEK	14
VIRI BESEDILA	15
VIRI SLIK	15

KAZALO SLIK

Slika 1: Paralaksa 1 (avtor: Damjan Dovnik).....	6
Slika 2: Paralaksa 2 (avtor: Damjan Dovnik).....	7
Slika 3: Potovanje sonde New Horizons (pluto.jhuapl.edu, 2020)	8
Slika 4: Fotografija z Zemlje - negativ (avtor: mag. Marko Žigart)	9
Slika 5: Fotografija iz sonde New Horizons (pluto.jhuapl.edu, 2020)	10
Slika 6: Uporaba spletne strani Nova Astromety.net – posnetek zaslona	10
Slika 7: Posnetek zaslona iz programa Paint.net – prekriti sliki	11
Slika 8: Posnetek zaslona iz programa Gimp – merjenje paralakse	11
Slika 9: Trikotnik (Richmond, 2020).....	12

POVZETEK

Za to raziskovalno nalogo sem se odločil, ker sem želel ugotoviti, kako natančno lahko s pomočjo dveh fotografij zvezde Wolf 359 z različnih opazovališč izmerim paralakso in iz njiju določim njeno oddaljenost od Zemlje. Uporabil sem sočasno nastali fotografiji, posneti z Zemlje in s sonde New Horizons. Fotografijo z Zemlje smo naredili s šolskim teleskopom. Z računalniškim orodjem za astrometrijo sem fotografijama določil velikost v ločnih sekundah in iz primerjanja fotografij razbral paralakso opazovane zvezde. Iz pridobljenih podatkov o legi sonde New Horizons in zvezde Wolf 359 sem s pomočjo trigonometrije izračunal njeno oddaljenost. Rezultat se za manj kot 10 % razlikuje od prave oddaljenosti.

Ključne besede: paralaksa, merjenje oddaljenosti bližnjih zvezd, Wolf 359, New Horizons

1 UVOD

Ljudje so se dolga stoletja spraševali, kako daleč so zvezde. Danes poznamo ogromno metod, s katerimi lahko določimo razdaljo do njih. Ena izmed teh metod je tudi merjenje razdalje s pomočjo paralakse, ki jo uporablja veliko amaterskih in profesionalnih astronomov. Tudi mene je zanimala ta metoda, zaradi česar sem se odločil, da bom s pomočjo dveh fotografij izmeril paralakso zvezde Wolf 359 ter izračunal tudi njeno oddaljenost od Zemlje. Pri tem sem uporabil fotografijo, posneto z Zemlje, in fotografijo, ki jo je posnela vesoljska sonda z imenom New Horizons.

Glavni namen raziskovalne naloge je raziskati in ugotoviti, kako se izmeri paralaksa bližnje zvezde s pomočjo dveh fotografij, ki sta bili posneti istočasno na dveh različnih lokacijah, ter kako s paralakso izračunamo oddaljenost zvezde.

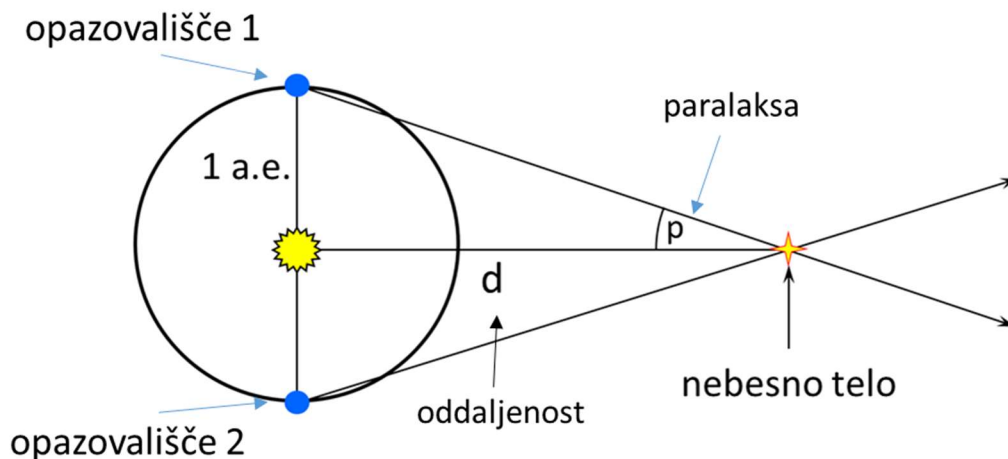
Pri raziskavi sem si pomagal z različnimi programi. Na začetku sem si pomagal s spletno stranjo Nova Astrometry.net, saj sem na ta način najprej prepoznal lego zvezde, nato pa sem lahko ugotovil, koliko kotnih sekund na sliki predstavlja ena slikovna pika oziroma piksel. Za prekrivanje slik sem uporabil program Paint.net, za merjenje razdalje premika zvezde pa program Gimp.

2 TEORETIČNI UVOD

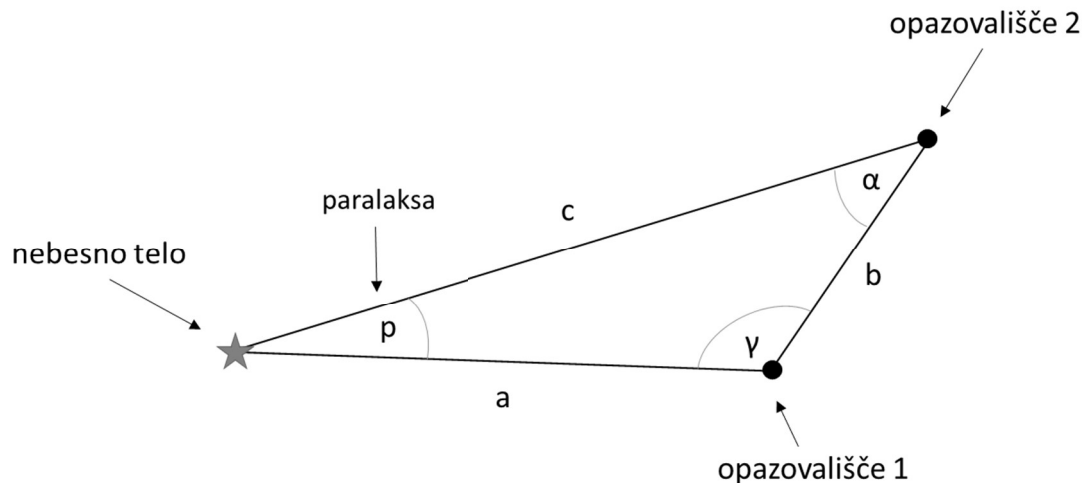
2.1 Paralaksa

Paralaksa je pravzaprav navidezna sprememba lege bližnjega telesa glede na bolj oddaljeno ozadje, kar je posledica spremembe lege opazovališča oziroma opazovanja iz več različnih točk. To najlažje razložimo na primeru izmeničnega zapiranja oči. Najprej zapišimo na eno oko, s palcem pa prekrijemo neki bližnji predmet. Nato odpremo oči in zapišimo na drugo oko. Palec se glede na ozadje premakne. Če opazovalec oziroma opazovalka izmeri ta navidezni premik in pozna razdaljo med očmi, lahko s tem določi razdaljo do tega telesa. Ker se enako dogaja tudi z zvezdami, je mogoče z natančnimi instrumenti določiti paralakso in posledično tudi njihovo oddaljenost. Do nedavnega je bila ta metoda omejena na merjenje oddaljenosti do razdalje približno sto svetlobnih let, saj premikov zelo oddaljenih zvezd ni bilo mogoče izmeriti. Danes nam vesoljski teleskopi, kot so npr. Hubble in Gaia ter različne sonde in sateliti, omogočajo precej večjo natančnost. V preteklosti je bil najbolj znan satelit, ki je meril paralakso tudi zvezdam, oddaljenim do 1000 svetlobnih let, satelit evropske vesoljske agencije ESA z imenom Hipparcos (Velika ilustrirana enciklopedija vesolja, 2008).

Oddaljenost določenega nebesnega telesa lahko s pomočjo izmerjene paralakse izračunamo na precej enostaven način. V primeru, da nebesno telo in opazovališči tvorijo enakokraki trikotnik oziroma sta opazovališči enako oddaljeni od nebesnega telesa (Slika 1), lahko uporabimo formulo $d \cdot p'' = 1$, kjer je d oddaljenost nebesnega telesa v parsekih, p'' pa paralaksa v kotnih sekundah ($''$). V primeru, da opazovališči z nebesnim telesom ne tvorita enakokrakega trikotnika (Slika 2), si moramo pomagati z malce bolj zahtevno trigonometrijo, natančneje s sinusnim izrekom ($\frac{a}{\sin(\alpha)} = \frac{b}{\sin(\beta)} = \frac{c}{\sin(\gamma)}$).



Slika 1: Paralaksa 1 (Avtor: Damjan Dovnik)



Slika 2: Paralaksa 2 (Avtor: Damjan Dovnik)

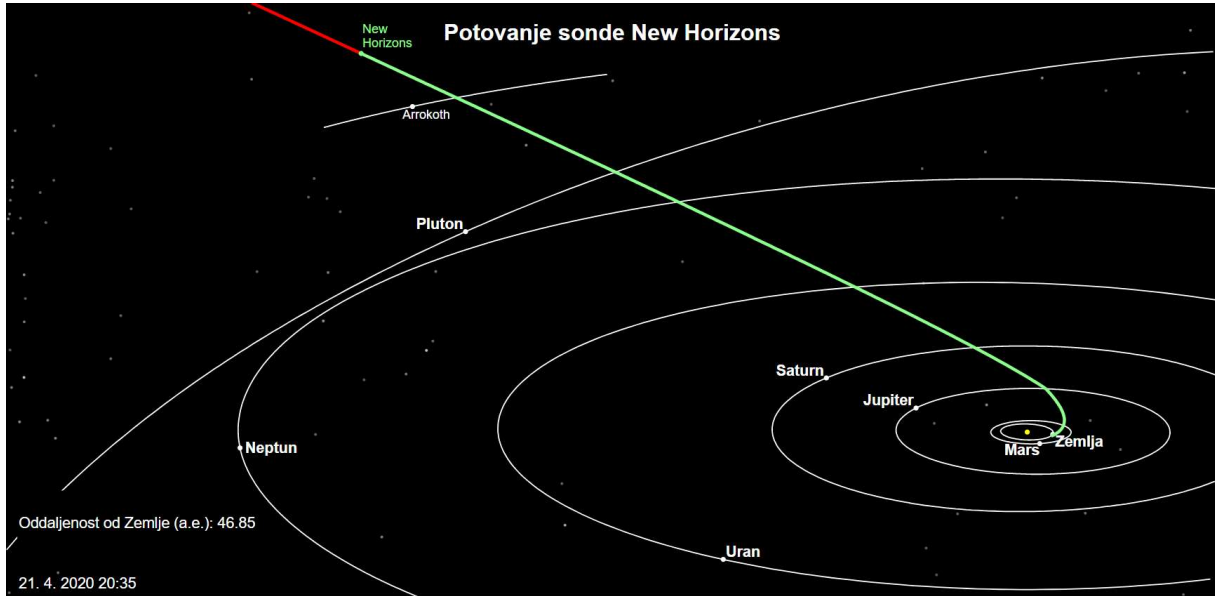
2.2 Wolf 359

Wolf 359 je rdeča pritlikavka v ozvezdju Leva, ki se nahaja blizu ekliptike. Ime je dobila po nemškem astronomu Maxu Wolfu, ki je med letoma 1919 in 1931 sestavil katalog zvezd z lastnimi gibanji. Njena navidezna magnituda je 13,54, kar pomeni, da je s prostim očesom z Zemlje ne moremo videti. Na njeni površini je temperatura približno 2800 K, kar je ravno dovolj, da se spojine, kot je titanov(II)oksid, ki so ga zaznali s pomočjo spektralnih črt, ne uničijo. Od Zemlje je oddaljena približno 7,86 svetlobnega leta oziroma $7,44 \cdot 10^{13}$ km in je peta Zemlji najbližja zvezda. Ravno zaradi njene bližine je paralaksa dovolj velika, da jo lahko odčitamo kar iz dveh slik (Wikipedia the free encyclopedia, 2021).

2.3 New Horizons

New Horizons je Nasina vesoljska sonda, ki so jo v vesolje izstrelili 19. januarja 2006 z izstrelišča Cape Canaveral na Floridi. Njena glavna naloga je bila poleteti do Plutona in njegove lune Haron, kar se je julija 2015 tudi zgodilo. Pred tem je sonda 28. februarja 2007 letela mimo Jupitra, kjer si je z njegovo gravitacijo pridobila dodatno hitrost. Takrat je nastalo tudi nekaj kvalitetnih slik Jupitra, njegovih naravnih satelitov in komaj vidnih prstanov. Potem ko je New Horizons odletel mimo Jupitra, je vstopil v obdobje elektronskega mirovanja, v katerem je enkrat tedensko posredoval informacije o svojem stanju. Ko je 14. julija 2015 prispel v Plutonovo bližino, je prešel iz mirovanja in začel pošiljati slike Plutona in Harona, ki so bile veliko boljše kot tiste, ki so jih pred tem posneli s Hubblovim teleskopom. S pomočjo slik so na Plutonu opazili tudi veliko ledeno območje v obliki srca in našli gore iz vodnega ledu, ki se nahajajo na vrhu dušikovega ledu. Danes se New Horizons nahaja v Kuiperjevem pasu, kjer je posnel nekaj fotografij bližnjih zvezd, kot sta Wolf 359 in Proksima Kentavra, ki so kot nalašč za amaterske astronome, saj lahko z njihovo pomočjo izračunajo oddaljenost do le-teh (Britannica, 2021).

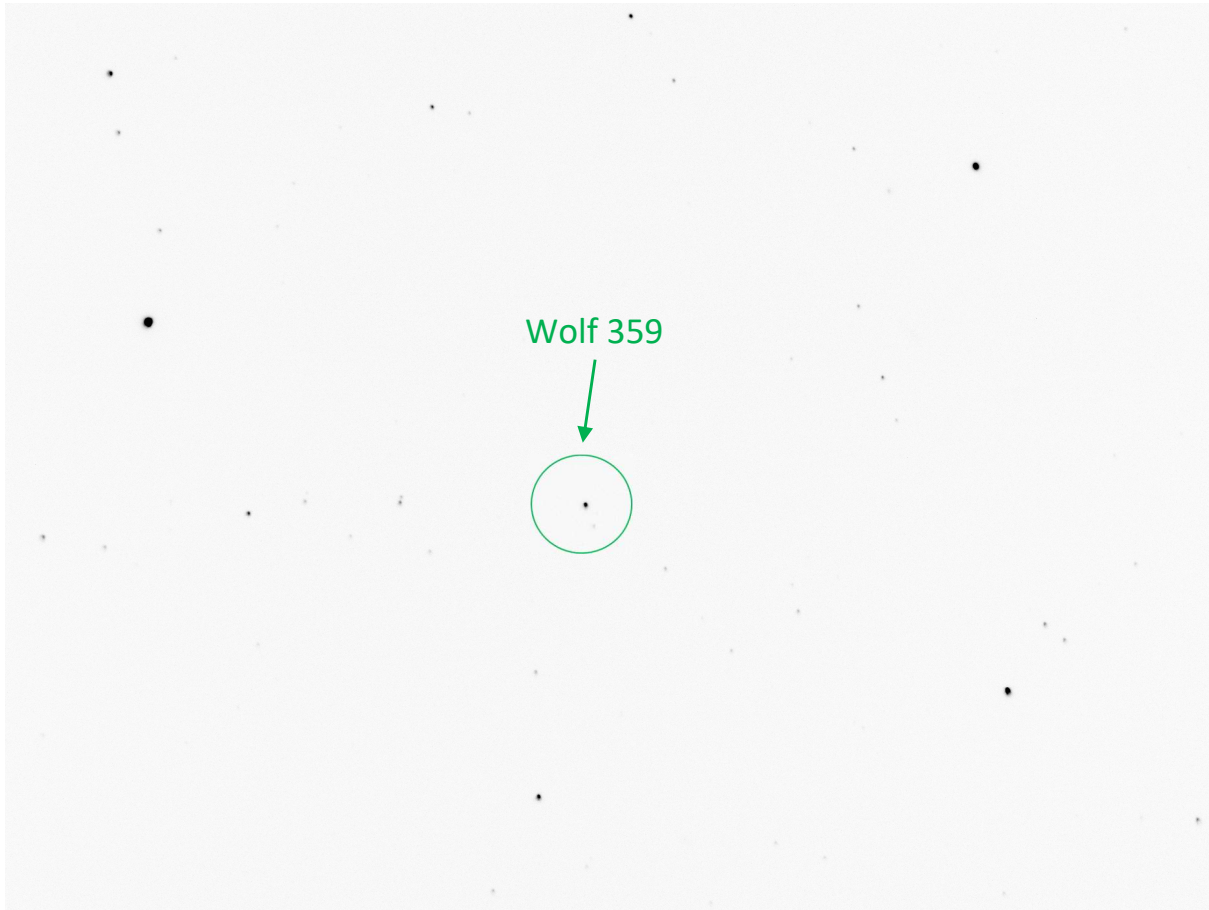
V času nastanka fotografije, ki sem jo uporabil za izračun paralakse, je bila sonda od Zemlje oddaljena približno 46,85 astronomskih enot, kar je približno $7,03 \cdot 10^9$ km (ena astronomska enota (a. e.) je povprečna razdalja med Zemljo in Soncem in znaša približno 150 000 000 km).



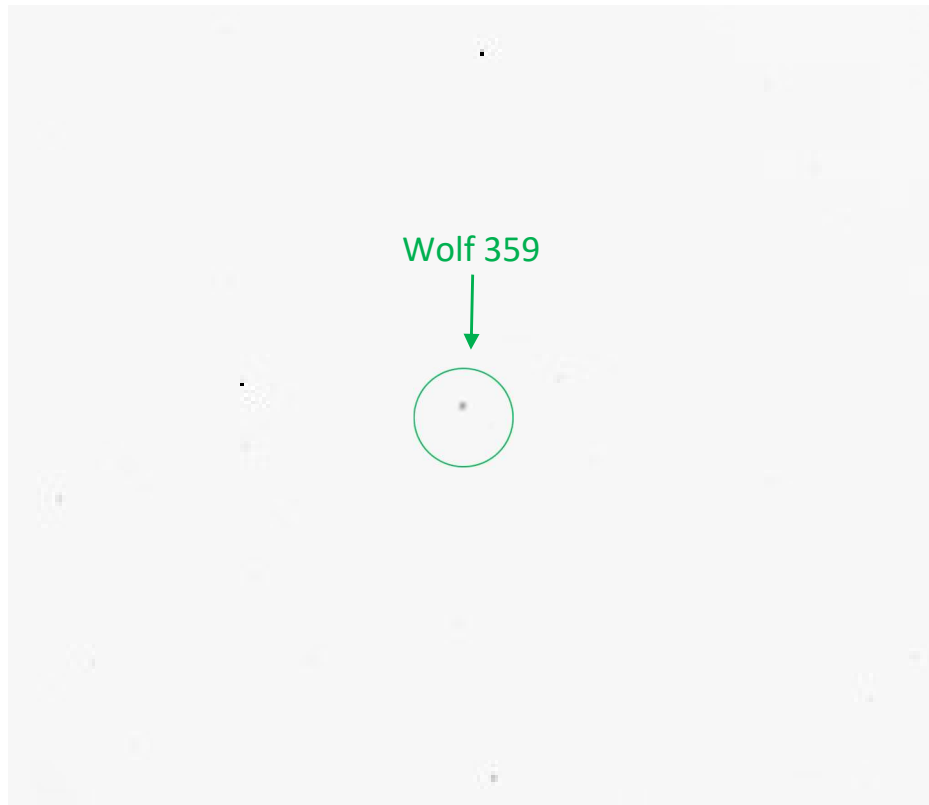
Slika 3: Potovanje sonde New Horizons in njena lega 21. 4. 2020 (pluto.jhuapl.edu, 2020)

3 MERITVE, IZRAČUNI IN REZULTATI

Da sem lahko izmeril paralakso, sem najprej potreboval fotografiji, ki sta bili posneti sočasno na dveh lokacijah, ki sta bili med seboj dovolj oddaljeni, da sem lahko na nastalih fotografijah izmeril paralakso. Za ta namen sem uporabil fotografijo z Zemlje (katere avtor je mentor mag. Marko Žigart in je nastala 21. 4. 2020 ob 19.35 UT) in fotografijo s sonde New Horizons (ki je nastala 23. 4. 2020 ob 7.45 UT in sem jo prenesel s spletne strani pluto.jhuapl.edu). Katere zvezde so na fotografiji in katera od njih je Wolf 359, sva ugotovila skupaj z mentorjem.

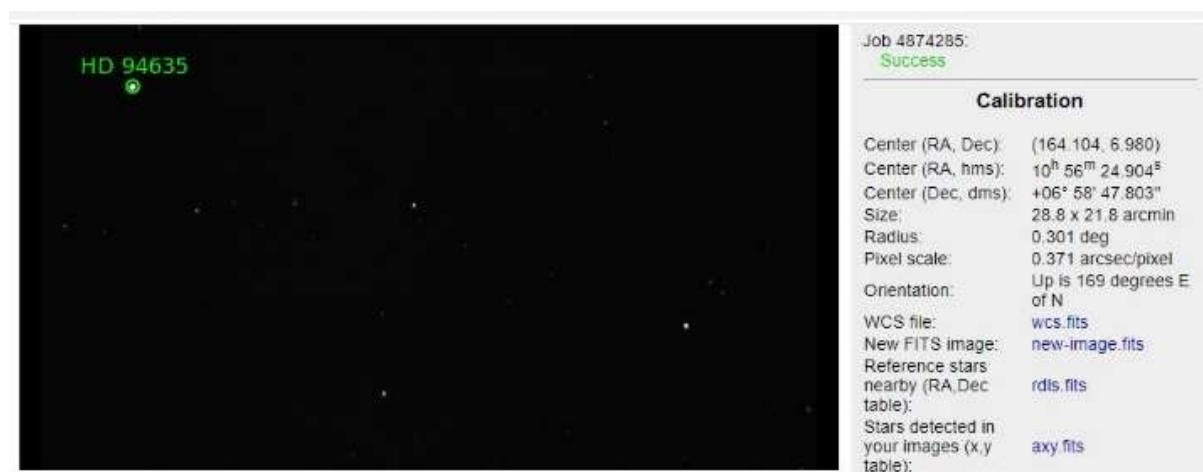


Slika 4: Fotografija z Zemlje – negativ (Avtor: mag. Marko Žigart)



Slika 5: Fotografija s sonde New Horizons (pluto.jhuapl.edu, 2020)

Za začetek sem moral ugotoviti, koliko kotnih sekund predstavlja ena slikovna pika oziroma piksel na fotografiji. Pri tem sem si pomagal s spletno stranjo Nova Astrometry.net, kamor sem naložil eno od slik, nato pa mi je spletna stran vrnila podatek, da ena slikovna pika na fotografiji, posneti s šolskim teleskopom, predstavlja približno 0,371". Uporabljen je bil teleskop Celstron 8i na alt-azimutalni montaži s kamero ZWO ASI 1600 MM Pro v primarnem gorišču. Ekspozicija je bila 9 sekund.



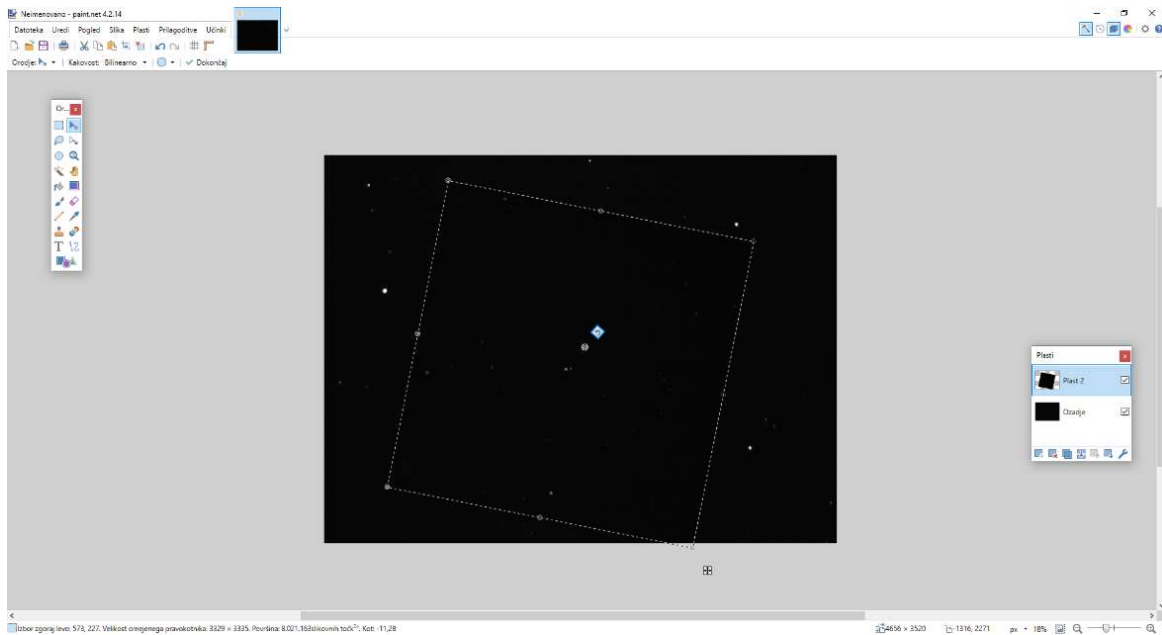
Calibration	
Center (RA, Dec):	(164.104, 6.980)
Center (RA, hms):	10 ^h 56 ^m 24.904 ^s
Center (Dec, dms):	+06° 58' 47.803"
Size:	28.8 x 21.8 arcmin
Radius:	0.301 deg
Pixel scale:	0.371 arcsec/pixel
Orientation:	Up is 169 degrees E of N
WCS file:	wcs.fits
New FITS image:	new-image.fits
Reference stars nearby (RA, Dec table):	rdls.fits
Stars detected in your images (x,y table):	axy.fits

Slika 6: Uporaba spletne strani Nova Astrometry.net – posnetek zaslona

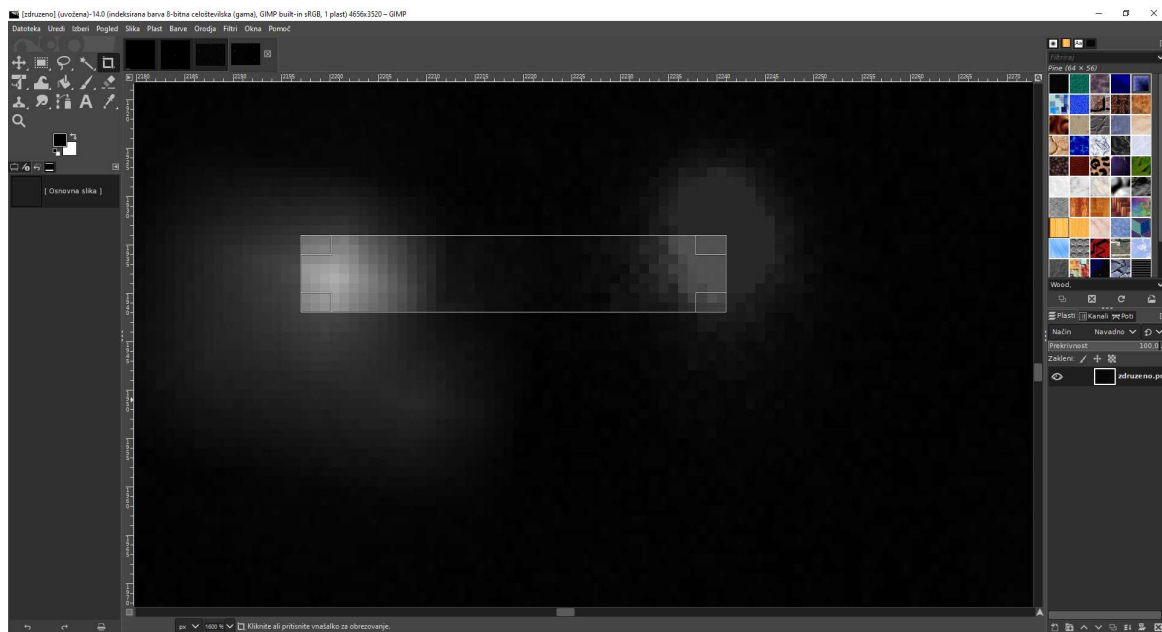
V naslednjem koraku sem moral obe fotografiji prekriti, da sem lahko izmeril paralakso. Pri tem sem si pomagal s programom Paint.net. Predpostavil sem, da so ostale svetle zvezde ob Wolf 359 mirovale oziroma je njihova paralaksa zanemarljiva, zato sem s pomočjo prekrivanja plasti v programu Paint.net spojil obe sliki na način, da so se vse ostale zvezde prekrile. To sliko sem nato shranil v formatu png, ker pa sem za prekrivanje uporabil Paint.net, se je velikost slike ohranila, zato je imela ta slika enako

število slikovnih pik kot slika, posneta s šolskim teleskopom. Velikost je bila 4656 x 3520 slikovnih pik. Nastalo sliko sem nato odprl v programu Gimp, kjer sem natančno izmeril velikost premika zvezde Wolf 359. Razdalja, ki sem jo izmeril, je bila 39 slikovnih pik po dolžini in 4 slikovne pike po širini, kar pomeni, da je bila razdalja med njima približno 39,2 slikovne pike.

Ker sta bili ta fotografija in tista, posneta s šolskim teleskopom, enako veliki, je to pomenilo, da tudi na tej fotografiji ena slikovna pika predstavlja 0,371". Na ta način sem lahko izračunal paralakso, saj sem število slikovnih pik med zvezdama (39,2) pomnožil z 0,371"/slikovno piko in dobil rezultat približno 14,54".



Slika 7: Posnetek zaslona iz programa Paint.net – prekriti sliki



Slika 8: Posnetek zaslona iz programa Gimp – merjenje paralakse

Iz paralakse sem izračunal razdaljo med Zemljo in zvezdo Wolf 359. Izračun bi bil enostaven, če bi Zemlja, New Horizons in Wolf 359 tvorili enakokraki trikotnik, saj bi lahko uporabil formulo $d \cdot p'' = 1$, ker pa ni bilo tako, sem potreboval še en podatek. Ta podatek je bil kot med Zemljo in Wolfom 359, gledan s sonde New Horizons (kot α na Sliki 9). Pri določitvi tega kota sem si pomagal z že izpeljano formulo za izračun kota s pomočjo rektacenzije in deklinacije, ki sem jo našel na spletni strani insightobservatory.com in se glasi:

$$\cos(\gamma) = \cos(90^\circ - \delta_1) \cdot \cos(90^\circ - \delta_2) + \sin(90^\circ - \delta_1) \cdot \sin(90^\circ - \delta_2) \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_2). \quad (1)$$

V tej formuli γ predstavlja kot med Wolfom 359, Zemljo in New Horizonsom (Slika 9), α predstavlja rektacenzijo Wolfa 359 oziroma New Horizonsa, δ pa deklinacijo Wolfa 359 oziroma New Horizonsa.

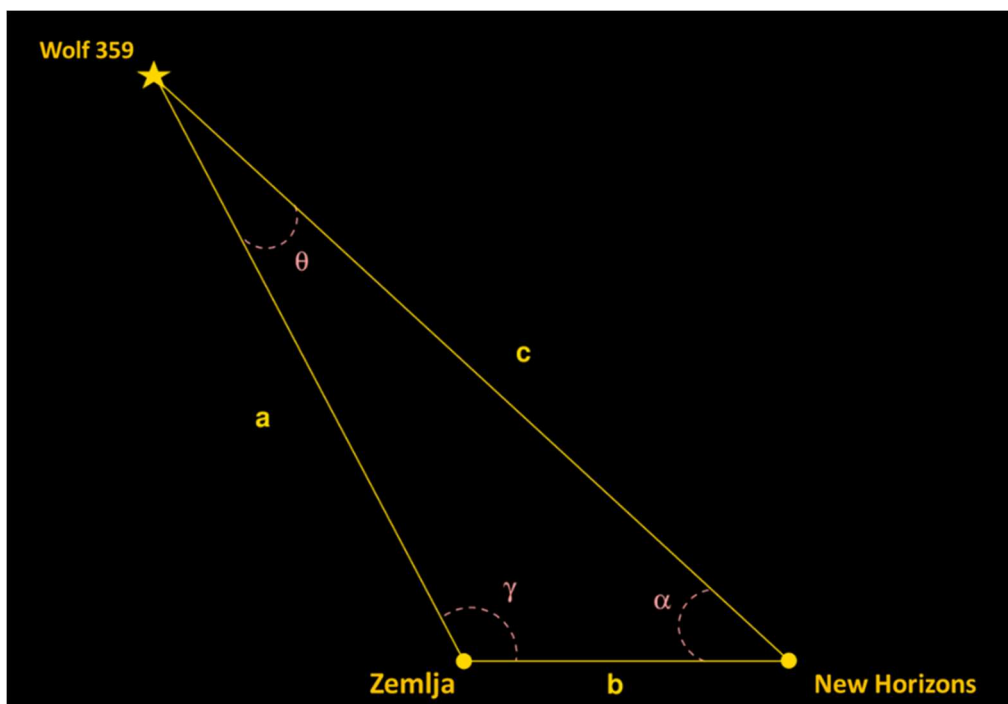
Rektacenzijo (RA) in deklinacijo (Dec) Wolfa 359 sem dobil s spletne strani Nova Astrometry.net, kamor sem naložil fotografijo (Slika 6), rektacenzijo in deklinacijo New Horizonsa pa sem dobil z Nasine spletne strani (<https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>), kamor sem vnesel čas nastanka fotografije (21. 4. 2020 ob 19.35 UT) in dobil zelen podatek.

Tako sem dobil naslednje vrednosti:

- Wolf 359: RA = 164,104; Dec = 6,980,
- New Horizons: RA = 289,121; Dec = -20,283.

Dobljene podatke sem nato vstavil v enačbo 1 in dobil iskan kot γ , ki meri 125,196°.

Ker vsi trije objekti skupaj tvorijo trikotnik (Slika 9), sem lahko iskani kot α preprosto izračunal. Vsota notranjih kotov v trikotniku v ravnini je 180°, zato sem moral od te vrednosti odšteti 125,196° in paralakso (ki meri 14,54", kar sem pretvoril v kotne stopinje (°), zaradi česar sem 14,54" delil s 3600 in dobil 0,004039°). Tako sem izračunal iskan kot α , ki znaša 54,800°.



Slika 9: Trikotnik (Richmond, 2020)

Razdaljo med Wolfom 359 in Zemljo sem izračunal s sinusnim izrekom za poljubni trikotnik ($\frac{a}{\sin(\alpha)} = \frac{b}{\sin(\beta)} = \frac{c}{\sin(\gamma)}$). Ker sem poznal razdaljo med Zemljo in New Horizonsom, ki je v času nastanka fotografije znašala 46,85 a. e., sem lahko dobil iskano razdaljo. Če upoštevam sinusni izrek, potem velja:

$$\frac{a}{\sin(54,800^\circ)} = \frac{46,85 \text{ a.e.}}{\sin(0,004039^\circ)}, \text{ kjer je } a \text{ oddaljenost Wolfa 359 od Zemlje (Slika 9).}$$

Iz zgornje enačbe lahko izrazimo a in dobimo:

$$a = \frac{46,85 \text{ a.e.} \cdot \sin(54,800^\circ)}{\sin(0,004039^\circ)} = 543 \text{ } 100 \text{ a. e.}$$

Iz tega sem izračunal razdaljo med Zemljo in Wolfom 359, ki je 543 100 a. e. oziroma $8,146 \cdot 10^{13}$ km. Odstopanje od prave vrednosti 496 000 a. e. je tako manj kot 10 %.

4 ZAKLJUČEK

Namen moje raziskovalne naloge je bil raziskati in ugotoviti, kako se izmeri paralaksa bližnjih zvezd in kako lahko s to paralakso izračunamo oddaljenost zvezde. Raziskal sem prav to in paralakso tudi izmeril, nato pa izračunal oddaljenost Wolfa 359 od Zemlje. Pri raziskavi so mi velik problem predstavljale formule za izračun določenih vrednosti, saj je bilo za njihovo izpeljavo potrebno ne le znanje ravninske, temveč tudi sferne trigonometrije.

Rezultati raziskave so dokaj realni, saj sem se zelo približal pravi oddaljenosti Wolfa 359 od Zemlje, ki je 7,86 svetlobnega leta oziroma $7,44 \cdot 10^{13}$ km, kar je 496 000 astronomskih enot. To pomeni, da sem se zmotil za približno 9,5 %. Odstopanje je lahko posledica premalo natančnih meritev paralakse, nenatančnosti pri prekrivanju zvezd, delno tudi zaradi zaokroževanja pri izračunih. Morda je k tej napaki prispevalo tudi dejstvo, da so se tudi ostale zvezde navidezno premaknile (čeprav zelo malo), kar sem zanemaril. Kljub temu je moj rezultat blizu pravemu podatku, s čimer dokazujem, da se lahko tudi z astroamatersko metodo ob posebnih situacijah, ko je razdalja med opazovališči velika, dokaj natančno izmeri razdalja do bližnjih zvezd.

Z metodo, ki je prikazana v raziskavi, je na žalost mogoče meriti le razdalje do bližnjih zvezd, saj je paralaksa pri bolj oddaljenih zvezdah premajhna, da bi jo lahko zaznali. Zaradi tega se znanstveniki poslužujejo različnih metod, kot so na primer radarske meritve za telesa v Osončju, meritve s pomočjo Hubblovega zakona za zelo oddaljena nebesna telesa, meritve spremenljivega sija Kefeid in podobno. Kljub vsem naprednim metodam je merjenje razdalje s paralakso ena redkih metod, ki jo lahko izvede vsak amaterski astronom oziroma astronomka z dovolj dobrimi pripomočki.

VIRI BESEDILA

- Frances P. e tal. Velika ilustrirana enciklopedija vesolje. Ljubljana: Mladinska knjiga, 2008.
- Wolf 359. 2021 [online]. Wikipedia, the free encyclopedia. Pridobljeno 19. februarja 2021 od https://en.wikipedia.org/wiki/Wolf_359
- New Horizons - United States space probe. 2021 [online]. Britannica. Pridobljeno 19. februarja 2021 od <https://www.britannica.com/topic/New-Horizons>
- RICHMOND, Michael. [online]. 2020. The distance to Wolf 359 via parallax - thanks to New Horizons. Pridobljeno 20. januarja 2021 od <http://spiff.rit.edu/richmond/asras/wolf359/wolf359.html>
- Wolf 359 Star Parallax. 2020 [online]. Insight observatory. Pridobljeno 17. februarja 2020 od <https://www.insightobservatory.com/2020/07/wolf-359-star-parallax.html>

VIRI SLIK

- Potovanje sonde New Horizons [online]. 2020. Blogs.nasa.gov. Pridobljeno 21. 2. 2021 od https://blogs.nasa.gov/pluto/wp-content/uploads/sites/253/2018/11/KEM_JourneyThroughKB_Trajectory_Guo20181031_v2.png
- Fotografija iz sonde New Horizons [online]. 2020. Pluto.jhuapl.edu. Pridobljeno 20. 1. 2021 od <http://pluto.jhuapl.edu/Learn/Parallax/Parallax-Images.php>
- RICHMOND, Michael. [online]. 2020. The distance to Wolf 359 via parallax - thanks to New Horizons. Pridobljeno 20. januarja 2021 od <http://spiff.rit.edu/richmond/asras/wolf359/wolf359.html>