



RAZISKOVALNA NALOGA

Merjenje rotacije in odbojnega spektra asteroida Eleonora 354

RAZISKOVALNO PODROČJE: FIZIKA IN ASTRONOMIJA

Miko Erker

Špela Dokič

Mentorja:

mag. Marko Žigart, prof. fizike,

in dr. Jure Japelj

Slovenska Bistrica, marec 2023

Zahvala

Zahvaljujema se mentorjema mag. Marku Žigartu in dr. Juretu Japlju, ki sta nama pomagala z idejami, razjasnjevala nejasnosti in naju naučila uporabljati vso opremo, potrebno za uspešno raziskovanje. Hkrati se zahvaljujema tudi Lidiji Ličen, najini profesorici slovenščine, ki je nalogo jezikovno uredila.

Kazalo

1	Uvod	6
2	Teoretični del	7
2.1	Asteroidi	7
2.2	Nastanek asteroidov in zgradba	7
2.3	Klasifikacija asteroidov	8
2.3.1	Asteroidni pas	8
2.3.2	Trojanci	9
2.3.3	Objekti blizu Zemlje	9
2.4	Eleonora 354	10
2.5	Langrangeeve točke	10
2.6	Magnituda	11
2.7	Fotometrija	12
2.8	Spektroskopija	12
3	Eksperimentalni del	14
3.1	Pripomočki in oprema	14
3.2	Izvedba eksperimentov	14
4	Rezultati in razprava	21
5	Zaključek	25
6	Literatura in viri	26

Kazalo slik

Slika 1: Glavne skupine asteroidov znotraj Jupitrove orbite (Vir: [2])	8
Slika 2: Prikaz lokacije trojancev (Vir: [13])	9
Slika 3: Langrangeeve točke (Vir: [17])	11
Slika 4: Prikaz Newtonovega eksperimenta (Vir: [16])	13
Slika 5: GoT1 (Vir: [10])	14
Slika 6: Posnetek zaslona	15
Slika 7: Posnetek zaslona grafa radialne odvisnosti svetlosti	17
Slika 8: Posnetek zaslona Loggerpro	17

Kazalo preglednic

Preglednica 1: Vrednost $j_{\lambda,0}$ pri določenem filtru	19
Preglednica 2: Napake gostote toka	20
Preglednica 3: Primerjava meritev odbojnega spektra	24
Preglednica 4: Napake odbojnega spektra	24

Kazalo grafov

Graf 1: Razlika magnitud modrega in rdečega filtra referenčnih zvezd	18
Graf 2: Primerjava oddanega svetlobnega toka v različnih barvnih filterih	21
Graf 3: Razlika magnitud med modrim in rdečim filtrom	22
Graf 4: Seštevek napak magnitud rdečega in modrega filtra	22
Graf 5: Primerjava našega izmerjenega odbojnega spektra z Gajinim	23

Povzetek

Za to področje raziskovanja smo se odločili, saj smo želeli razširiti znanje astronomije. Zanimalo nas je, katere lastnosti asteroida lahko izmerimo z merjenjem gostote toka skozi različne barvne filtre in merjenjem njegovega navideznega sija. Da bi na vprašanja odgovorili, smo s teleskopom v Čilu opazovali asteroid Eleonora 354. Najprej smo posneli eno periodo vrtenja asteroida v rdečem, zelenem in modrem filtru. Nato smo fotografije kalibrirali in jih z različnimi programi obdelali, tako da smo dobili potrebne podatke za nadaljnjo obdelavo. Najprej smo s temi podatki primerjali grafe gostote svetlobnega toka skozi barvne filtre, zatem smo uporabili še več formul, s katerimi smo magnitude pretvorili v gostoto toka na enoto valovne dolžine (pri čemer smo si pomagali z definicijo magnitude). Z vsemi podatki smo izmerili periodo vrtenja in odbojni spekter asteroida. Na koncu smo primerjali naše meritve s tistimi, ki jih je izmeril satelit Gaia, pri čemer smo dobili odstopanja, manjša od 20 odstotkov.

Ključne besede: asteroid, spektroskopija, fotometrija, odbojni spekter

Abstract

We chose this research area because we wanted to expand our knowledge of astronomy. We were interested in what properties of an asteroid can be measured by observing its luminous flux through different color filters and with its apparent brightness. To answer these questions, we observed the asteroid Eleonora 354 with a telescope in Chile. First, we took images of one rotation period of the asteroid in the red, green and blue filters. We then calibrated the images and processed them with various programs to obtain the necessary data for further analysis. Using this data, we compared graphs of light flux density through the color filters and then used formulas to convert magnitudes to flux density per unit wavelength (using the definition of magnitude). We calculated the asteroid's rotation period and reflectance spectrum using the data. Finally, we compared our measurements with those of the Gaia satellite and found deviations of less than 20 per cent.

Keywords: asteroid, spectroscopy, photometry, reflective spectrum

1 Uvod

Skozi človeško zgodovino je bilo vesolje vedno zelo zanimiva tema raziskovanja. Skozi čas so se tehnike raziskovanja zelo spreminjale in tudi izboljšale. Raziskovanje je bilo seveda zelo težko zaradi pomanjkanja opreme in tudi informacij o samem vesolju.

V 18. stoletju so začeli podrobneje raziskovati prazen prostor med Marsom in Jupitrom z namenom, da bi odkrili nov planet. Novega planeta niso odkrili saj so odkrili asteroid. Leta 1801 so odkrili asteroid Ceres, leta kasneje pa še asteroide Pallas, Juno in Vesta, ki so seveda največji, zato so bili tudi odkriti prvi. Danes lahko s sodobnimi tehnologijami opazujemo tudi manjše asteroide, kot je tudi 354 Eleonora, katerega smo opazovali v tej raziskovalni nalogi.

Namen raziskovalne naloge je, da s fotometrijo ugotovimo spreminjanje sija asteroida v rdečem, zelenem in modrem filtru, izračunamo gostoto svetlobnega toka asteroida in odbojni spekter asteroida.

Na začetku bomo predstavili teoretični del raziskovalne naloge (asteroide, nastanek, klasifikacijo, fotometrijo, spektroskopijo ...), kar nam bo pomagalo pri interpretiranju podatkov.

Nato bomo v eksperimentalnem delu prikazali potek raziskovanja s teleskopom in uporabo programov za analizo ter obdelavo podatkov.

Komentirali bomo pridobljene podatke in grafe. V zaključku bomo povzeli bistvo raziskave in ugotovitve ter predlagali, kako bi raziskovalno nalogo lahko izboljšali oziroma nadgradili.

2 Teoretični del

2.1 Asteroidi

Asteroidi, oziroma »mali planeti« so kamniti ostanki, ki so nastali pri zgodnjem oblikovanju našega sončnega sistema (pred približno 4,6 milijarde let). Večino asteroidov najdemo v orbiti našega Sonca med Marsom in Jupitrom, to je znotraj glavnega asteroidnega pasu.

[3]

2.2 Nastanek asteroidov in zgradba

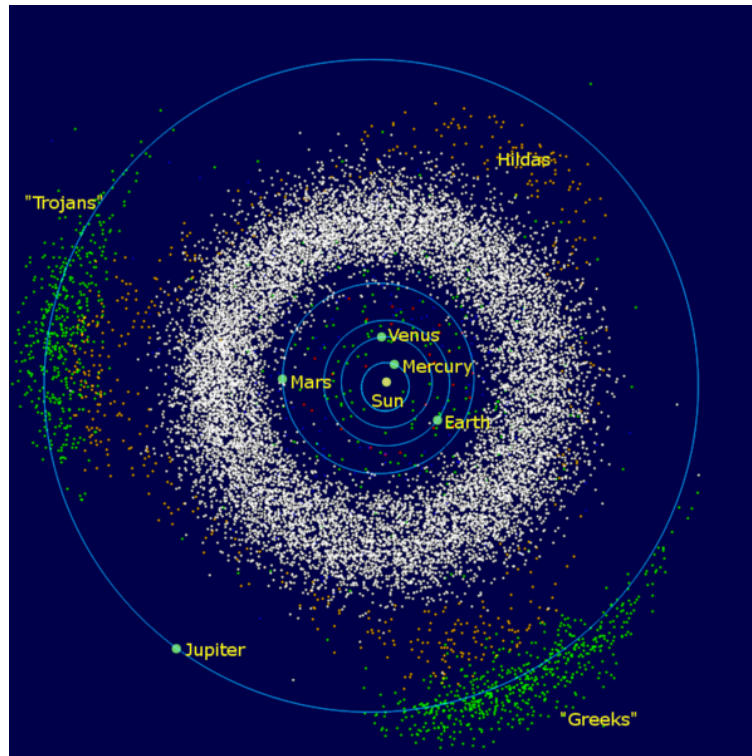
Zgodaj v zgodovini sončnega sistema je gravitacija novo nastalega Jupitra preprečila nastajanje planetarnih teles v asteroidnem pasu in povzročila, da so majhna telesa med seboj trčila in se razdrobila v asteroide, ki jih opazujemo danes. [3]

Razlike v sestavi asteroidov so povezane predvsem s tem, kako daleč od Sonca so nastali. Nekateri so se zaradi visokih temperatur delno stopili, pri čemer se je železo potopilo v središče in na površje izrinilo lavo. Asteroide lahko po odbojnosti, barvi in spektralni obliki delimo na tri skupine.

- Asteroidi tipa C: so najpogostejši asteroidi, ki so verjetno sestavljeni iz gline in silikatnih kamnin. So temnega videza, in spadajo med najstarejše nebesne predmete v sončnem sistemu. V njih prevladuje ogljik.
- Asteroidi tipa S: so sestavljeni iz silikatnih materialov in nikljevega železa. V njih prevladuje siliij.
- Asteroidi tipa M: so sestavljeni iz železa in niklja.

2.3 Klasifikacija asteroidov

Asteroide razvrščamo glede na to, kje se nahajajo. Ti mali planeti lahko sodijo pod glavni asteroidni pas, pod Trojance ali pod klasifikacijo »objekti blizu Zemlje«.



Slika 1: Glavne skupine asteroidov znotraj Jupitrove orbite (Vir: [2])

2.3.1 Asteroidni pas

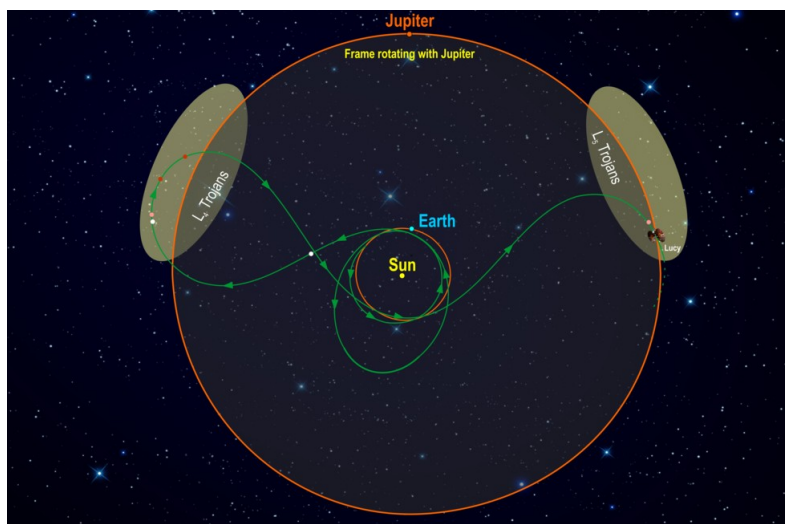
Asteroidni pas, ki je imenovan tudi glavni pas, je območje, ki se nahaja v obliki torusa v Osončju med orbitama Jupitra in Marsa. V njem se nahaja veliko število trdnih teles nepravilnih oblik in različnih velikosti, imenovanih asteroidi. Glavni pas je nastal iz sončnih meglic kot skupine planetezimalov, ki so manjši predhodniki protoplanetov. Tukaj so nastali številni asteroidi. Razlog je bila gravitacijska motnja med Marsom in Jupitrom, ki je povzročila preveliko količino orbitalne energije, ki je kasneje vplivala na to, da so planetezimali med seboj trčili in se razdrobili na manjše delce. V asteroidnem

pasu najdemo vsaj 100 teles, ki so večja od 200 km, 100.000 večjih od 20 km in še milijardo teles, večjih od dveh kilometrov.[2]

2.3.2 Trojanci

Trojanec je majhno nebesno telo, po navadi asteroid, ki si deli orbito večjega telesa, kot so orbite planetov ali velikih lun. Večji nebesnim objektom sledijo v stalni orbiti približno 60 stopinj pred glavnim telesom ali za njim v bližini ene od njegovih Lagrangeevih točk L4 in L5.

Najbolj znani Trojanci si delijo orbito Jupitra. Ti so razdeljeni na dva tabora: grški tabor (pred Jupitrom – L4) in trojanski tabor (za Jupitrom – L5). [17]



Slika 2: Prikaz lokacije Trojancev (Vir: [13])

2.3.3 Objekti blizu Zemlje

Objekt blizu Zemlje oziroma NEO (near-Earth object) je vsako majhno telo Osončja, ki ga orbita pripelje v bližino Zemlje. Zanj je značilno, da je telo NEO, če je njegov perihelij Soncu manjši kot 1,3 astronomske enote (AU). Če se objekt blizu Zemlje približa Zemlji

in prečka Zemljino orbito in je hkrati večji od 140 metrov, spada pod potencialno nevarne objekte (PHO – potentially hazardous object). Večino PHO in NEO predstavljajo asteroidi, takoj za njimi so kometi.[11]

2.4 Eleonora 354

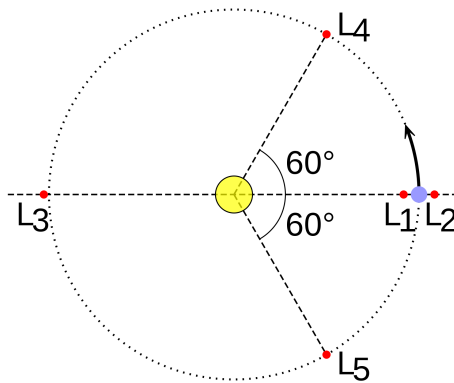
Eleonora 354 je manjši kamniti asteroid, ki se nahaja v glavnem pasu. Odkril ga je francoski astronom Auguste Charlois 17. januarja 1893 v Nici. Klasificiran je kot asteroid tipa S. [1]

2.5 Langrangeeve točke

Lagrangeeve točke so položaji v prostoru, v katerih predmeti oziroma objekti, ki so tja poslani, tudi ostanejo. V teh točkah je gravitacijska sila dveh velikih mas natančno enaka centripetalni sili, ki je potrebna, da se ta predmet premika z njima. Obstaja pet posebnih točk, v katerih lahko majhna masa kroži v konstantnem vzorcu z dvema večjima masama.

- L1 je točka, v kateri bo Zemljina gravitacija, če postavimo nekakšno vesoljsko plovilo neposredno med Sonce in Zemljo, plovilo potegnila v nasprotno smer Sončevega vlečenja. S tem bo izničena gravitacijska sila Sonca, ki pospešuje hitrost vesoljskega plovila, kar omogoči, da se vesoljsko plovilo upočasni in ohrani svojo orbito.
- L2 je točka, zelo podobna L1, vendar ni na strani med Zemljo in Soncem, ampak je na »nočni« strani Zemlje. Ko je vesoljsko plovilo bolj oddaljeno od Sonca, se bo premikalo počasneje, vendar bo gravitacijska sila Zemlje v tej točki dodatno privlačila vesoljsko plovilo, da se bo premikalo hitreje z Zemljo.
- L3 je točka za Soncem, tik za orbito našega planeta, in je ni mogoče videti z Zemlje.
- L4 in L5 sta točki, ki ležita na 60 stopinjah pred Zemljo in za njo, blizu njene orbite.

Točke L1, L2 in L3 so nestabilna območja, v katerih majhen pritisk ali udarec na objekt, ki se nahaja v njih, povzroči oddaljevanje, zato na primer vesoljska plovila pogosto izstreljujejo rakete, da ostanejo v tako imenovanih »halo orbitah« okoli Lagrangeevih točk. Točki L4 in L5 sta stabilni območji, v katerih, če povzročimo manjšo spremembo na opazovanem objektu, bo objekt še vedno krožil okoli Lagrangeeve točke, ne da bi se oddaljil. [6]



Slika 3: Langrangeeve točke (Vir: [17])

2.6 Magnituda

Magnituda je astronomska količina navideznega sija nebesnega telesa na določenem pasu valovnih dolžin. Sij nebesnega telesa je povezan z gostoto energijskega toka (j), ki prehaja iz telesa na Zemljo. V preteklost so astronomi razdelili zvezde, vidne s prostim očesom, v šest razredov, in sicer od zvezde prve magnitude do zvezde šeste magnitude.

Danes lahko z merjenjem gostote svetlobnega toka (j) natančno izračunamo magnitudo nekega objekta. Po definiciji pošiljajo telesa prve magnitude na Zemljo približno 100-krat več svetlobe kot telesa šeste magnitude. Torej je objekt prve magnitude 100-krat svetlejši kot objekt šeste magnitude. Nižja kot je magnituda, svetlejši je objekt. Za izrazito svetle objekte so dovoljene tudi negativne vrednosti.

Ločimo dve vrsti magnitud: navidezne magnitude (m) in absolutne magnitude (M). Navidezna magnituda je količina svetlosti telesa na nebu, gledano z Zemlje. Svetlost nebesnih teles je vedno zapisana kot navidezna magnituda. [8]

Absolutna magnituda je dejanski izsev, ki ga seva telo. Za zvezde je definirana kot navidezna magnituda, ki bi jo imelo telo na razdaljo 10 parsekov. Parsek (pc) je dolžinska enota, ki je definirana kot razdalja med Zemljo in zvezdo pod kotom ene ločne sekunde. Tako parsek znaša $3,09 \cdot 10^{16}$ km oziroma 3,26 svetlobnih let. [12] Enačba skozi katero lahko dobimo navidezno magnitudo ali absolutno magnitudo je naslednja:

$$m - M = 5 \log\left(\frac{d}{10}\right) \quad (1)$$

2.7 Fotometrija

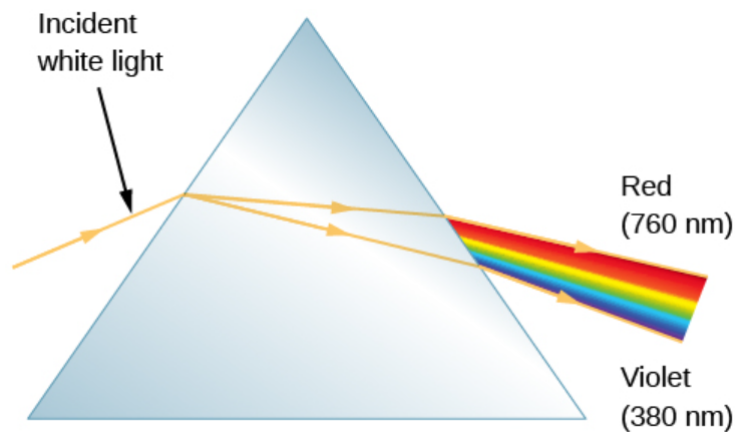
Fotometrija v astronomiji pomeni merjenje jakost svetlobe zvezd ali drugih nebesnih teles, da bi izvedeli njihove lastnosti o strukturi, temperaturi, oddaljenosti, starosti ... [5] Moč svetlobe se meri s teleskopom s fotometrom, ki pretvori svetlobo v električni tok s fotoelektričnim učinkom (ko elektromagnetno sevanje, kot je svetloba, zadene material in odda elektrone, natančneje fotoelektrone). Kadar fotometre umerimo na referenčne zvezde z znano intenziteto in barvo, lahko izmerijo svetlost ali navidezno magnitudo nebesnih teles. [14]

2.8 Spektroskopija

Spektroskopija je tehnika delitve svetlobe (natančneje elektromagnetnega sevanja) na njene sestavne valovne dolžine (spekter). [15]

Isaac Newton je odkril, da se, ko svetloba pride v stik s površino, v njegovem primeru s ploskvo prizme, pot svetlobe upogne, saj se vse barve, skrite v tej svetlobi, ne upognejo

enako, kar je odvisno od valovne dolžine svetlobe kot tudi od lastnosti materiala. Vijolična svetloba je bolj upognjena kot rdeča. Pojav, ki je opisan, se imenuje disperzija in pojasnjuje Newtonov mavrični eksperiment. Ko svetloba zapusti nasprotno ploskev prizme, se ponovno upogne in razprši naprej, pri čemer lahko vidimo, da nastane mavrica zaradi različnih valovnih dolžin. Nastalemu se reče spekter svetlobe. Aparatura, ki se uporablja za razpršitev svetlobe in oblikovanje spektra, se imenuje spektrometer.



Slika 4: Prikaz Newtonovega eksperimenta (Vir: [16])

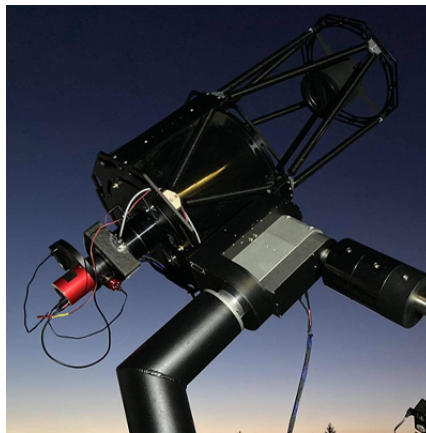
Ta iznajdba nam je kasneje pomagala pri raziskovanju spektra posameznih plinov. Znanstveniki so svetlobo spuščali skozi posode, v katerih je bil redek plin. Ugotovili so, da ti plini niso prozorni pri vseh barvah, kar pomeni, da se je v plinu moralo absorbirati vsaj nekaj barv svetlobe. To se je zgodilo z vsemi plini, vendar je vsak različen element absorbiral drugačen niz barv, skozi katere je pokazal tudi različne temne črte (manjkajoči barvni razponi, ki se pojavijo kot temni razponi v sončnem spektru). Ugotovili so, da če gre svetloba skozi plin, sestavljen iz dveh elementov, potem svetloba ne bo imela barv (temne črte); če je plin bil čisti element (na primer vodik), je oddajal en vzorec barv. Hkrati so ugotovili, da barve, ki jih segreti plini absorbirajo, le-te barve tudi oddajajo. Z navedeno ugotovitvijo lahko v astronomiji sklepamo, iz katerega elementa je določeno nebesno telo glede na njegov spekter. [16]

3 Eksperimentalni del

3.1 Pripomočki in oprema

V raziskovalni nalogi smo za opazovanje asteroida Eleonora 354 uporabljali teleskop GoT1. Ima večjo optično cev s 400-milimetrskim premerom in z reflektorjem tipa Ritchey-Chretien. Teleskop je nameščen na dovršeno montažo ONE50. Hkrati je na teleskop pritrjena kamera CMOS ASI6200MM Pro. Pri samem opazovanju smo uporabljali tudi rdeče, zelene in modre filtre. Tako kot fotografski filtri tudi teleskopski izboljšajo podrobnosti in kontrast. To naredijo tako, da izrežejo neželene barve ali valovne dolžine svetlobe. Z njimi lahko razvrščamo različne nebesne objekte tudi po sestavi.

Teleskop se nahaja na izvrstnem območju v Čilu, kjer imamo ene izmed najboljših razmer za opazovanje na svetu. Lokacija je $30^{\circ}27'S$ in $70^{\circ}45'W$. Sama oprema je avtomatizirana in omogoča enostavno rokovanje s teleskopom iz Slovenije. [10]

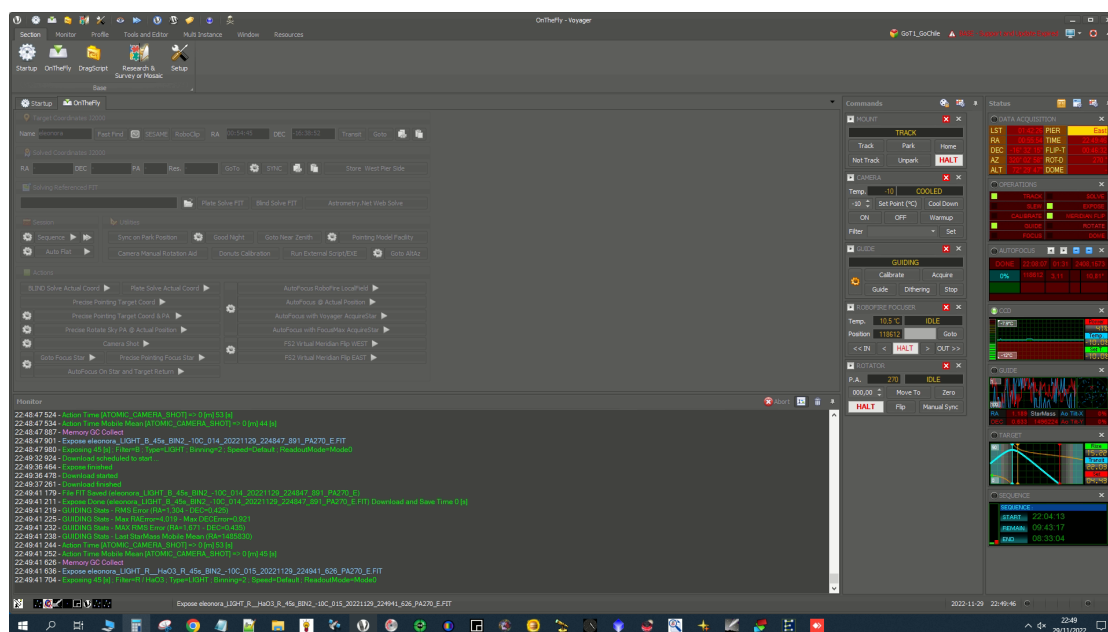


Slika 5: GoT1 (Vir: [10])

3.2 Izvedba eksperimentov

Na začetku smo morali izbrati asteroid, pri čemer smo si zadali dva glavna cilja, in sicer da bo imel asteroid dovolj nizko magnitudo, da ga bomo lahko videli, in da bo imel dovolj

majhen čas rotacije, da si ga bomo lahko ogledali v eni noči. Asteroid smo izbirali v bazi podatkov na spletni strani Nase [7]. Po odločitvi, katerega bomo opazovali, smo se tega tudi lotili. Za opazovanje smo uporabljali aplikacijo AnyDesk, s katero smo se povezali z računalnikom Go Chile. V tem programu smo nastavili sekvenco, v katero smo vstavili nebesne koordinate (deklinacijo in rektascenzijo), in označili, da bomo fotografirali v vseh treh filtrih (modrem, zelenem in rdečem), ki so se med opazovanjem izmenjevali, hkrati pa smo nastavili tudi ekspozicijo fotografiranja, ki je bila 45 sekund.



Slika 6: Posnetek zaslona

Prvo opazovanje smo opravili v soboto, 26. 11. 2022, ob 2.00. Pri tem opazovanju smo imeli veliko težav, saj je teleskop zaradi slabših vremenskih razmer (megličastega neba) izgubljal zvezde, ki jim je sledil za opazovanje asteroida. Uspeli smo posneti 135 fotografij, ki jih zaradi nenatančnih podatkov za raziskavo nismo uporabili. Ker je bilo prvo opazovanje neuspešno, smo ga ponovili v ponedeljek, 28. 11. 2022, vendar zaradi slabših vremenskih razmer tudi to opazovanje ni uspelo. Posneli smo samo 207 fotografij. Zadnjič smo opazovali v sredo, 30. 11. 2022, ko je opazovanje uspelo. Posneli

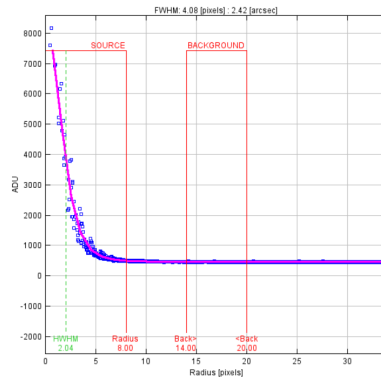
smo 378 fotografij in podatke uporabili za nadaljnje raziskovanje. Težave pri opazovanju pripisujemo predvsem slabim vremenskim razmeram in pomanjkanju dovolj svetlih zvezd na tem delu neba.

Po opravljenem fotografranju smo dobili fotografije, ki smo jih morali kalibrirati. Kalibracije so bile narejene v programu Astro Pixel Processor; za kalibracijo smo uporabili tri tipe kalibracijskih posnetkov. To so:

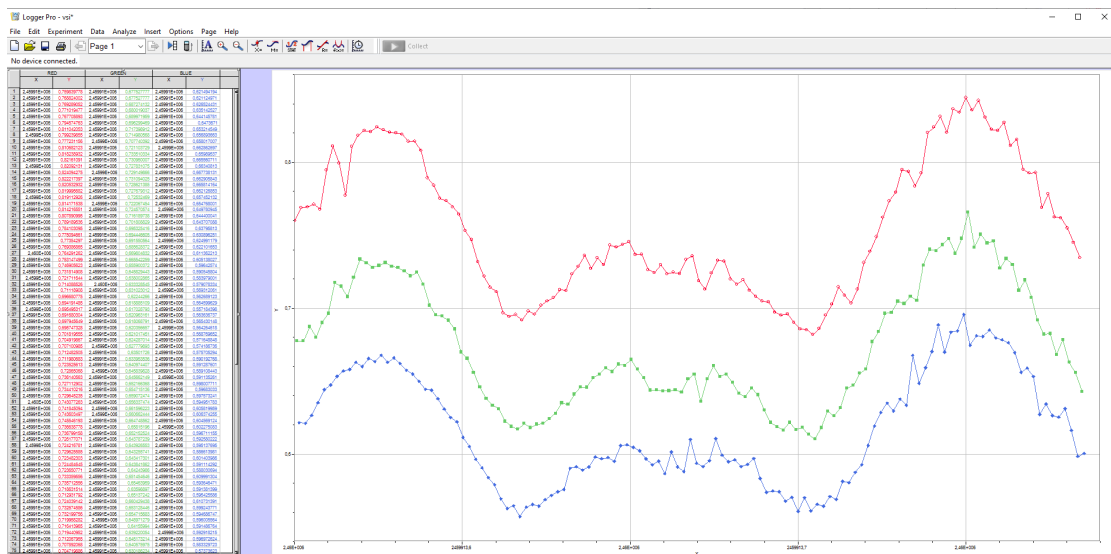
- kalibracija ravnega polja (flat frames), ki odstranjuje prašne madeže, vinjetiranje in druge nepravilnosti znotraj slike; ta kalibracijski posnetek se naredi ob mraku ali zori;
- kalibracija pristranskega polja (bias frames), ki odstranjuje signal na sliki, ki je posledica električnega toka znotraj senzorja za slikanje;
- kalibracija temnega polja (dark frames).

Navidezni sij asteroida na posamezni sliki smo izmerili s programom AstroImageJ. Najprej nam je program izrisal graf radialne odvisnosti svetlosti (slika 7); iz njega smo nato določili območje za branje svetlosti. Nato smo v programu izbrali referenčne zvezde z ustreznimi magnitudami. Zvezde smo iskali na spletni strani Astrometry.net[4], njihove magnitude pa smo dobili na spletni strani Vizier. Za zeleni in rdeči filter smo uporabili katalog Pan-STARRS DR1, za modrega katalog APASS.

Nato smo izbrali še že omenjene referenčne zvezde, s katerimi je program izmeril spremembo sija asteroida kot posledico spremembe sija referenčnih zvezd. Dobljene podatke smo vstavili v Google Sheets, nato pa v LoggerPro, ki nam je izrisal grafe navideznega sija v odvisnosti od časa. Grafe posamičnih filtrov smo za lažjo primerjavo združili v enega.

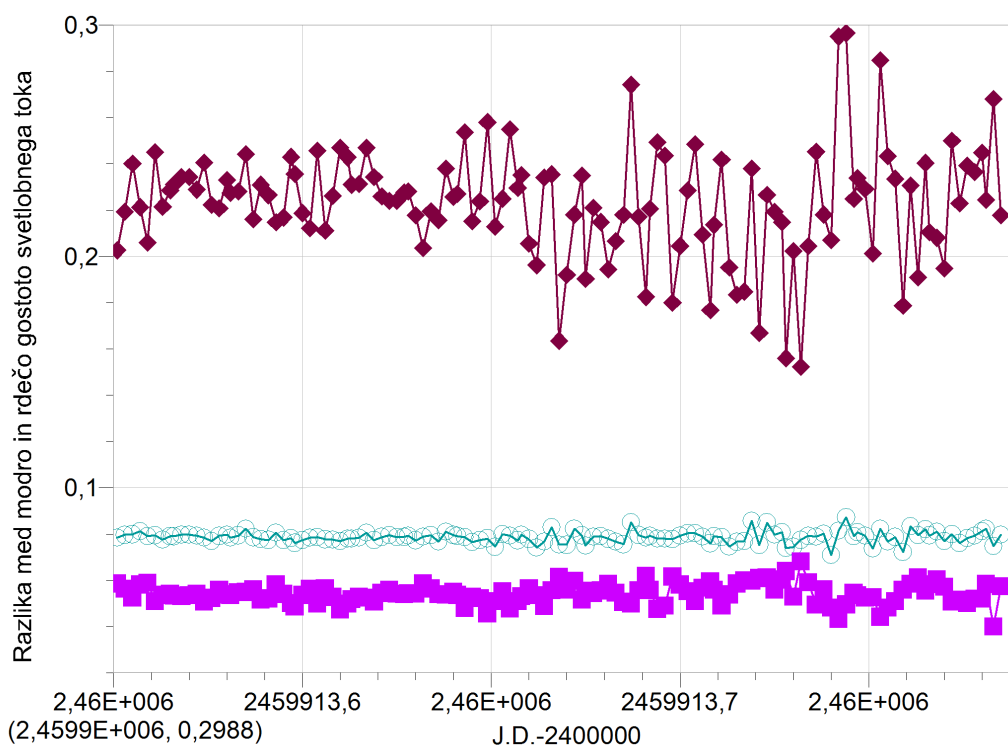


Slika 7: Posnetek zaslona grafa radialne odvisnosti svetlosti



Slika 8: Posnetek zaslona Loggerpro

Zatem smo izračunali še razliko med modrim in rdečim filtrom za referenčne zvezde, da smo lahko videli, ali se našim referenčnim zvezdam spreminja barva ali ne. Videli smo, da pride na referenčni zvezdi C4 (graf 1, temno vijolična barva) do manjšega spreminjanja med celotnim opazovanjem, kar je posledično lahko vplivalo tudi na naše podatke.



Graf 1: Razlika magnitud modrega in rdečega filtra referenčnih zvezd

Zanimalo nas je, ali se barva asteroida med vrtenjem spreminja. Zato smo izračunali razliko magnitud rdečega in modrega filtra ter seštevke njunih napak med samim opazovanjem. Nato smo se odločili, da bomo meritve primerjali s povprečnim spektrom, ki ga je izmerila Gaia. Najprej smo morali naše magnitudo pretvoriti v odbojni spekter. To smo naredili tako, da smo se osredotočili na del spektra filtrov, pri katerem je bil navidezni sij v večini konstanten. Tam smo vzeli pet zaporednih meritev in izračunali povprečno vrednost

magnitude in napako teh vrednosti. Povprečje napake smo izračunali z enačbo:

$$o^2 = \frac{\sum_{i=1}^n o_i^2}{N} \quad (2)$$

Nato pa smo morali magnitude pretvoriti v fizikalne enote (v gostoto toka na enoto valovne dolžine). Pri pretvorbi smo si pomagali z definicijo magnitude, ki je:

$$j_\lambda = j_{\lambda,0} \cdot 10^{(-0.4 \cdot mag_\lambda)} \quad (3)$$

Za vsak filter smo potrebovali faktor $j_{\lambda,0}$, katere vrednosti smo predhodno poiskali v tabelah.

Preglednica 1: Vrednost $j_{\lambda,0}$ pri določenem filtru

Filter	$j_{\lambda,0}$
Rdeči	2.47×10^{-9}
Zeleni	5.05×10^{-9}
Modri	6.13×10^{-9}

Nato smo pa mogli še izračunati napako gostote toka:

$$\Delta j_\lambda = 0.5 \cdot j_{\lambda,0} \cdot (10^{-0.4 \cdot (mag_\lambda - \Delta mag_\lambda)} - 10^{-0.4 \cdot (mag_\lambda + \Delta mag_\lambda)}) \quad (4)$$

V preglednici 2 lahko vidimo izračunane napake z enačbo 4 in enačbo 5. Te napake niso čisto korektne, saj nismo upoštevali razsutosti izmerjenih magnitud teh zvezd s tistimi iz kataloga, zaradi česar smo se potem odločili, da bomo uporabili napako 0,05 magnitude.

Preglednica 2: Napake gostote toka

Filter	j_λ	Δj_λ
Rdeči	$9,36 \times 10^{-14}$	$3,56 \times 10^{-16}$
Zeleni	$1,16 \times 10^{-13}$	$6,5 \times 10^{-16}$
Modri	$1,05 \times 10^{-13}$	$6,83 \times 10^{-16}$

Najprej smo izračunali gostoto toka, in sicer z z enačbo 3. Nato smo ta podatek delili s povprečnim spektrom Sonca pri določeni valovni dolžini (j_λ, Sun):

$$R_\lambda = \frac{j_\lambda}{j_{\lambda, Sun}} \quad (5)$$

Nato smo za normalizacijo navedenih podatkov vzeli zeleni filter, saj je bil spekter satelita Gaia pri valovni dolžini 550 nm enak 1 – v našem primeru na sredini zelenega filtra. Normalizacijo smo naredili tako, da smo odbojni spekter vsakega filtra delili z odbojnim spektrom zelenega filtra.

$$R_{\lambda, n} = \frac{R_\lambda}{R_g} \quad (6)$$

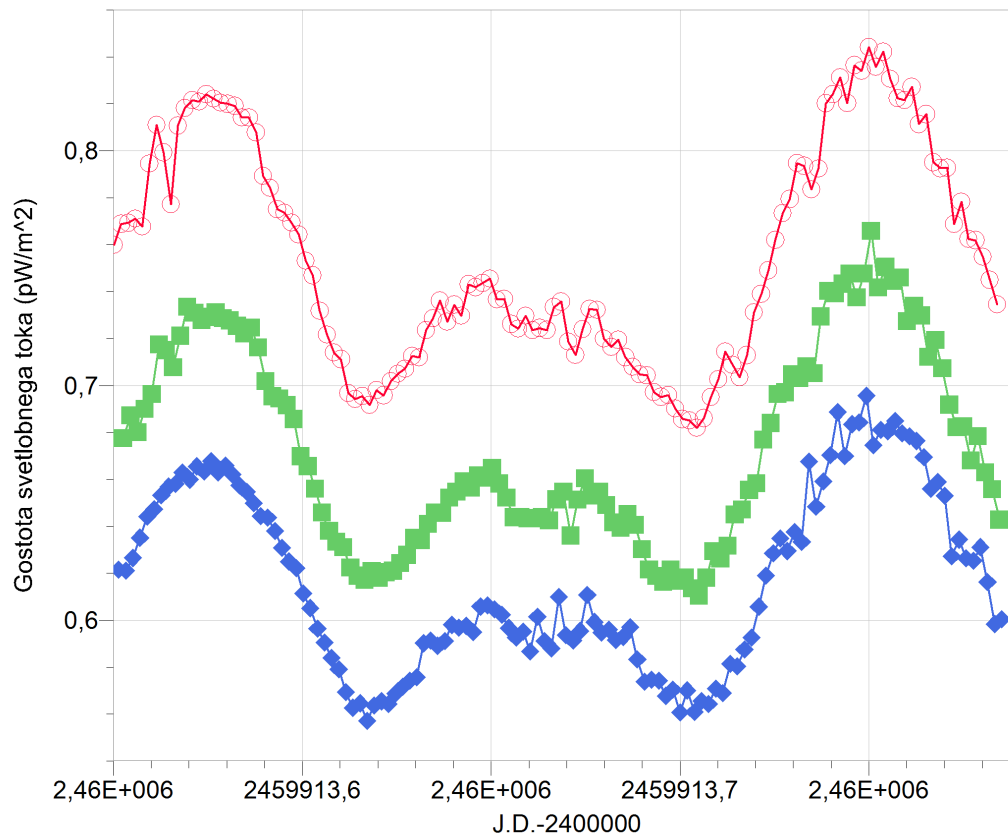
Do končnih rezultatov smo prišli, tako da smo izračunali napako odbojnega spektra. To smo naredili s pomočjo parcialnega odvoda.

$$d_1 \cdot a_1 = 10^a \cdot \ln 10 \cdot da_0 \quad (7)$$

Spremenljivka a predstavlja zmnožek $-0,4$ z povprečno magnitudo, $\ln 10$ naravni logaritem števila deset in d relativno napako magnitudo. V preglednici 4 lahko vidimo dobljene napake odbojnega spektra.

4 Rezultati in razprava

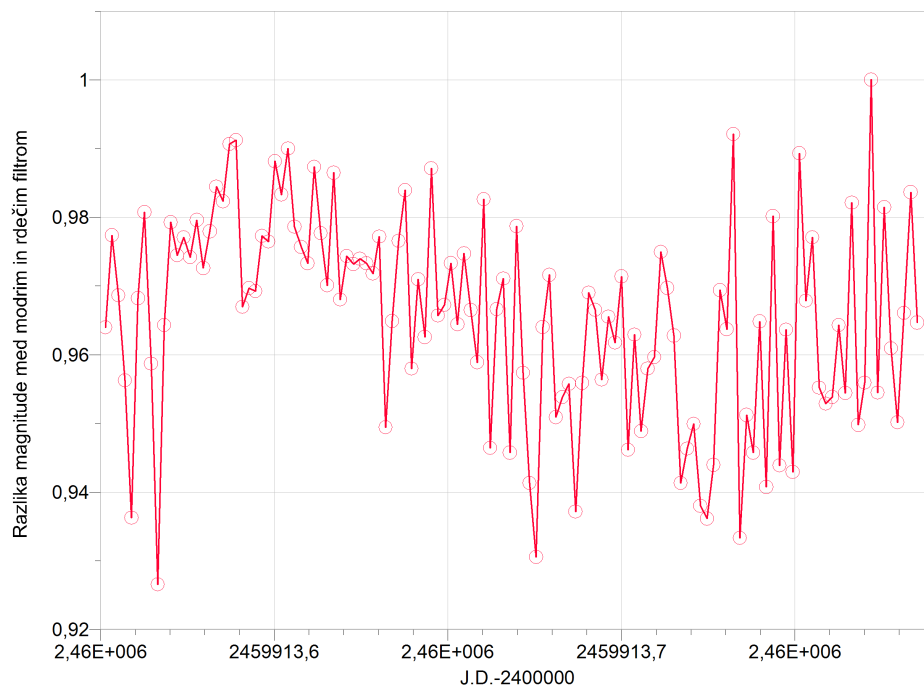
Graf 2 predstavlja primerjavo navideznega sija asteroida, posnetega v različnih barvnih filterih, skozi čas. Opazimo, da se njegova svetlost ne spreminja sinusoidno, kar je posledica njegove nesimetrične oblike. Izračunali smo tudi časovno razliko med obema vrhoma in s tem preverili, ali smo zajeli celotno periodo. Za izračun smo morali pretvoriti podatke iz julijanskega časa v naš čas. To smo naredili s spletno stranjo Nase ([7]). Dobili smo, da se asteroid okrog svoje osi zavrti v približno 4 h in 17 min, kar se v praksi zelo lepo ujema z literaturo.



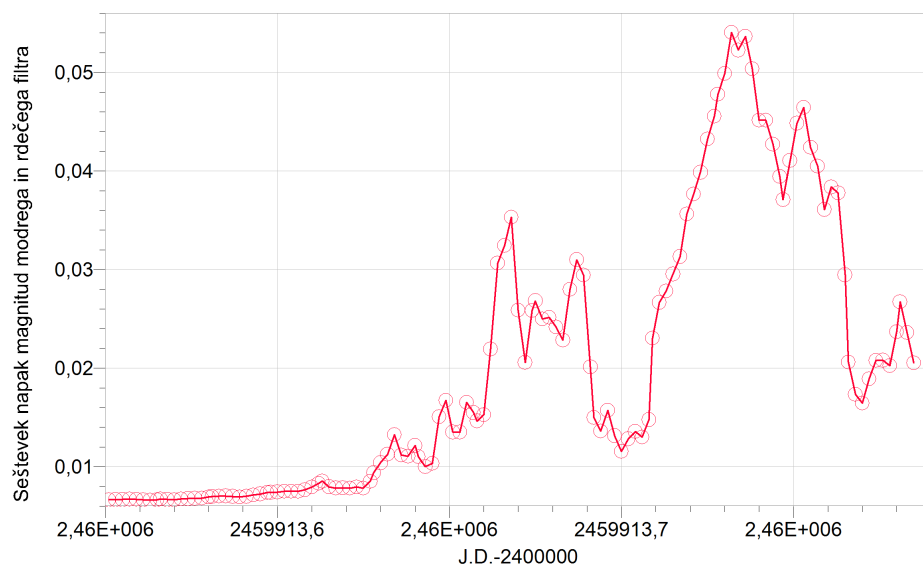
Graf 2: Primerjava oddanega svetlobnega toka v različnih barvnih filterih

Na grafu 3 lahko vidimo razliko med modrim in rdečim filtrom skozi čas. Vidimo, da je bil filter, v katerem je asteroid svetil svetleje, rdeč, saj je razlika med njima pozitivno

število, kar pomeni, da je bila magnituda modrega filtra večja, svetlost tega filtra pa manjša. Hkrati lahko iz grafa razberemo, da se barva ni preveč spreminjala.

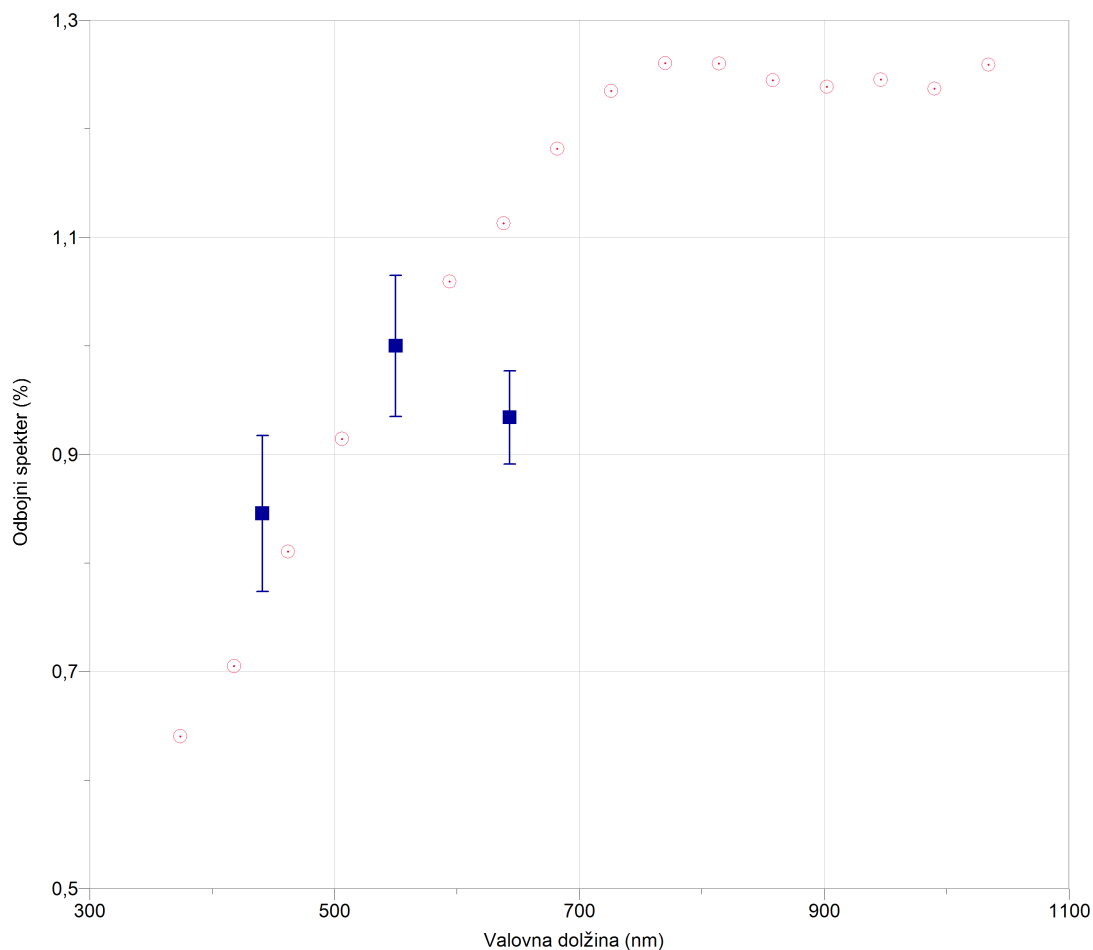


Graf 3: Razlika magnitud med modrim in rdečim filtrom



Graf 4: Seštevek napak magnitud rdečega in modrega filtra

Na grafu 4 lahko vidimo, kako se je napaka magnitude rdečega in modrega filtra spreminjala skozi opazovanje. Vidimo lahko, da je na koncu opazovanju bila napaka 5-krat večja, kot na začetku opazovanja.



Graf 5: Primerjava našega izmerjenega odbojnega spektra z Gajinim

Na grafu 5 lahko vidimo primerjavo natančnosti naših meritev z meritvami satelita Gaia. Za vsak filter smo izračunali povprečno vrednost odbojnega spektra, ki smo ga dali na povprečno vrednost valovne dolžine v določenem intervalu. Za modri filter je bil interval 387–495 nm, za zeleni 489–571 nm in za rdeči filter 587–598 nm. Nato smo vzeli mediano navedenih intervalov in narisali točko. Ker so bili podatki normalizirani z zelenim filtrom (enačba 7), vidimo, da se zeleni filter prilagaja vrednosti; modri filter

se prilagaja z manjšim odstopanjem; rdeči filter se prilagaja z večjim odstopanjem, ki je lahko posledica tega, da je področje asteroida na nebu imelo malo zvezd z že umerjeno rdečo magnitudo. Ko smo našli kako zvezdo, je bila le-ta pogosto tako imenovana »high proper motion star« (če pogledamo graf 1 iz našega primera, lahko vidimo, da čisto zgornji graf (temno vijoličen) nima konstantne barve in se zelo hitro spreminja). Tudi to bi lahko vplivalo na natančnost naših podatkov. V preglednici 2 lahko vidimo tudi primerjave naših normaliziranih izmerjenih odbojnih spektrov s tistimi satelita Gaia. Po kratkem izračunu lahko preverimo, da je naše odstopanje pri filtrih precej nizko: pri rdečem je 17-odstotno, pri zelenem ni odstopanja, saj je bil to filter, s katerim smo normalizirali podatke, pri modrem je odstopanje 10-odstotno.

Preglednica 3: Primerjava meritev odbojnega spektra

Filter	Valovna dolžina (nm)	Naš normaliziran izmerjen odbojni spekter	Gaiin izmerjen normaliziran odbojni spekter	Odstopanje (%)
Rdeči	634	0,934	1,12	17
Zeleni	550	1	1	0
Modri	441	0,846	0,7596	10

V preglednici 4 lahko vidimo izračunane vrednosti napake odbojnega spektra za posamičen filter. Vidimo lahko, da je največji odstotek napake bil pri modrem filtru, najmanjši pa pri rdečem filtru.

Preglednica 4: Napake odbojnega spektra

Filter	Napaka odbojnega spektra (%)
Rdeči	4,6
Zeleni	6,5
Modri	8,5

5 Zaključek

Raziskovalne naloge smo se lotili, da bi pridobili znanje o astronomiji, da bi se naučili rokovati s teleskopom in da bi spoznali metodo dela s spektroskopijo in fotometrijo. Lahko potrdimo, da smo navedene kompetence usvojili. Poleg tega smo se naučili še razbirati podatke iz grafov, izračunati rotacijski čas asteroida s fotometrijo ter izračunati odbojni spekter pri rdečem, zelenem in modrem filtru. Hkrati smo z urejanjem podatkov pridobili znanja statistike. Spoznali smo pojme navidezna magnituda, absolutna magnituda, spekter, gostota svetlobnega toka, valovna dolžina ...

Pri rezultatih je vidno manjše odstopanje v primerjavi s tistimi, ki jih je izmeril satelit Gaia, in sicer predvsem pri rdečem filtru, kar je lahko tudi posledica slabše izbire referenčnih zvezd. Kljub temu smo dosegli cilj raziskovalne naloge – izmeriti odbojni spekter asteroida Eleonora 354. Hkrati smo izračunali še že prej omenjeni rotacijski čas, ki znaša približno 4 h in 17 min, pri čemer je odstopanje približno 4-odstotno, če ga primerjamo z literaturo. Rezultati bi bili boljši, če bi asteroid spremljali dalj časa preko več period vrtenja. Prav tako bi bili rezultati boljši, če bi se asteroid nahajal na drugem delu neba, na katerem je več zvezd, kar bi pomagalo pri fotometriji in natančnejših podatkih.

Raziskovanje nam je dalo nove ideje, ki bi lahko bile osnova za prihodnja raziskovanja, npr. raziskovanje hitrosti asteroida ali oddaljenost asteroida. Hkrati bi lahko tudi primerjali karakteristike asteroidov glede na gostoto svetlobnega toka.

6 Literatura in viri

- [1] *354 Eleonora*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/354_Eleonora. Pridobljeno: 2. 2. 2023.
- [2] *Asteroid belt*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Asteroid_belt. Pridobljeno: 29. 1. 2023.
- [3] *Asteroids, comets and meteors*. URL: <https://solarsystem.nasa.gov/asteroids-comets-and-meteors/asteroids/in-depth/>. Pridobljeno: 29. 1. 2023.
- [4] *Astrometry.net*. URL: <https://nova.astrometry.net/>. Pridobljeno: 2. 2. 2023.
- [5] The Editors of Encyclopaedia Britannica. *Photometry*. URL: <https://www.britannica.com/science/photometry-astronomy>. Pridobljeno: 2. 2. 2023.
- [6] ESA. *What are Lagrange points?* URL: https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/What_are_Lagrange_points. Pridobljeno: 29. 1. 2023.
- [7] *Jet Propulsion Laboratory*. URL: <https://www.jpl.nasa.gov/>. Pridobljeno: 2. 2. 2023.
- [8] *Magnitude (astronomy)*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Magnitude_\(astronomy\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Magnitude_(astronomy)). Pridobljeno: 2. 1. 2023.
- [9] *Mean absolute error*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Mean_absolute_error. Pridobljeno: 29. 1. 2023.
- [10] Gomboc Andreja in Mihelčič Matej. *GoChile*. URL: <https://gochile.si/>. Pridobljeno: 15. 12. 2022.
- [11] *Near-Earth object*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Near-Earth_object#Near-Earth_asteroids. Pridobljeno: 30. 1. 2023.
- [12] *Parsek*. URL: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Parsek>. Pridobljeno: 2. 1. 2023.

- [13] Piyush Patel. *What Are Trojan Asteroids?* URL: <https://www.scienceabc.com/nature/universe/what-are-trojan-asteroids.html>. Pridobljeno: 29. 1. 2023.
- [14] *Photometry (astronomy)*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Photometry_\(astronomy\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Photometry_(astronomy)). Pridobljeno: 2. 2. 2023.
- [15] *Spectroscopy*. URL: <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/s/Spectroscopy>. Pridobljeno: 2. 2. 2023.
- [16] *Spectroscopy in Astronomy*. URL: <https://openstax.org/books/astronomy-2e/pages/5-3-spectroscopy-in-astronomy>. Pridobljeno: 2. 2. 2023.
- [17] *Trojan (celestial body)*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Trojan_\(celestial_body\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Trojan_(celestial_body)). Pridobljeno: 29. 1. 2023.