

Istraživački rad

Izračun brzine meteora i umjetnih satelita mjerenjem promjene kutne brzine

Mentori:

Zoran Knez (zoranknez@optinet.hr),

Zoran Brčić, Mladen Zovko

Učenica:

Paula Brčić (paula.brcic@gmail.com)

4. razred, III. gimnazija, Split

Sadržaj

1.Uvod.....	2
2.Opis problema i cilj rada	3
3.Mjerenja i metode obrade	4
3.1.Korištena oprema.....	4
3.2.Obrada fotografija	6
3.3.Izračun kutne brzine po intervalima.....	8
3.4.Izračun stvarne brzine.....	10
4.Analiza rezultata	13
5.Zaključak	15
6.Životopis	16
7.Izvori	17

1.Uvod

Promatraju li se meteori poznatih rojeva, kao što su Perzeidi i Geminidi, mogu se primijetiti da neki ostavljaju dulji, a neki kraći trag i da su neki brži, a neki sporiji. Na prvi pogled, te su karakteristike nasumične i nepovezane. Međutim, razumijevajući geometriju putanja tih meteora, mogu se shvatiti relacije koje povezuju te karakteristike, a različitost vidljivih tragova može se pripisati perspektivi promatrača. U stvarnosti je brzina koju meteor može postići svojstvena svim meteorima odabranog roja.

Upravo je to bio poticaj za ovaj istraživački rad koji za cilj ima na jednostavan i zanimljiv način izmjeriti promjenjivu kutnu brzinu i izračunati stvarne brzine meteora poznatog roja. Ova je tema istovremeno otvarala mogućnost rezervnog plana, odnosno snimanje umjetnih satelita uz primjenu sličnih metoda, u slučaju nemogućnosti snimanja meteora.

2. Opis problema i cilj rada

Kada se promatraju meteorski rojevi, nije teško zamijetiti da se meteori kreću prividno različitim brzinama, ostavljajući pritom različitu duljinu traga. Međutim, kutna brzina se mijenja progresijom putanje pojedinog meteora te ovisi primarno o mjestu osmatranja. Bilo bi zanimljivo iz izmjerene kutne brzine koju percipiramo s tla, poznatih podataka o poziciji radijanta i visini na kojoj prosječni meteor odabranog roja izgara izračunati stvarnu brzinu meteora. Istu bi se zatim moglo usporediti s poznatom prosječnom brzinom meteora tog roja, pazeći pritom na to da je brzina različita ovisno o tome snimaju li se meteori ujutro ili navečer.

Ideja za snimanje meteora u svrhu mjerenja i izračuna kutne brzine bila je snimati ciljani dio neba duljom ekspozicijom na način da je ispred objektiva fotoaparata postavljena propela poznate frekvencije. Dobivena slika prikazivala bi isprekidani trag meteora, pri čemu bi bio poznat konstantni vremenski interval u kojem je svaki dio zabilježen. Iz podataka o duljini pojedinog traga u stupnjevima, lako bi se zatim izračunale kutne brzine te nadalje realna brzina.

U prosincu prošle godine, prije samog snimanja, pretpostavljeni su mogući problemi: je li fotoaparat dovoljno osjetljiv da zabilježi meteore relativno slabog intenziteta te hoće li poslužiti vremenski uvjeti i sreća? Uzimajući u obzir vrijeme rada, najbolja opcija bila je snimanje meteora roja Geminida s maksimumom aktivnosti sredinom prosinca zbog njihove relativno velike satne frekvencije. Nažalost, unatoč nekoliko večeri provedenih u pokušajima snimanja, fotoaparat nije zabilježio nijedan meteor tog roja.

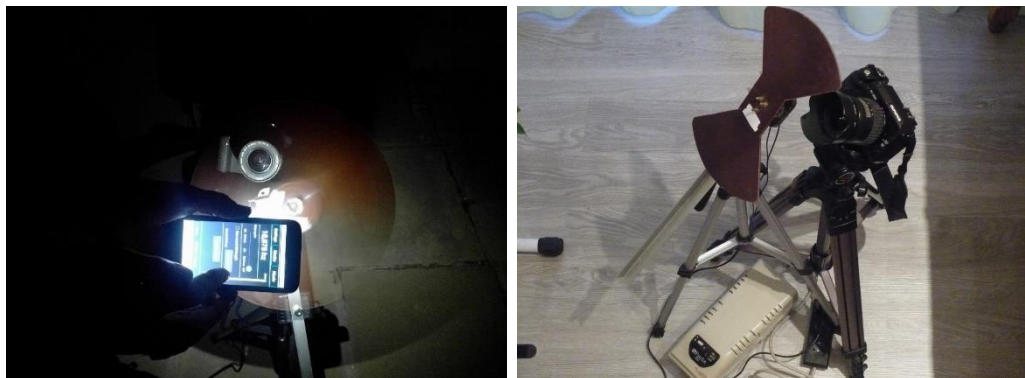
S obzirom da nema značajnijih rojeva u prvih par mjeseci kalendarske godine, bilo je potrebno pokušati primijeniti slične metode snimanja i izračuna brzina na pouzdanije objekte - umjetne satelite. Konkretno, pred večer 25. siječnja 2017. godine sniman je satelit Iridium 52, a dan kasnije satelit Iridium 10. U ovom će radu biti opisan postupak snimanja potonjeg, dobivanje potrebnih podataka mjerenjem ili računom te analiza dobivenih rezultata.

Uz ovu izmjenju, ideja rada uglavnom ostaje nepromijenjena, ali metode snimanja i obrade podataka bilo je potrebno prilagoditi. Sateliti imaju manju kutnu brzinu te su dulje vidljivi. Stoga je umjesto snimanja dulje ekspozicije uz korištenje propele pred objektivom fotoaparata radije snimano više uzastopnih fotografija relativno kraće ekspozicije. Time su kratke pauze među pojedinim snimkama postigle ono čemu bi za snimanje meteora služila propela, odnosno stvaranje praznina među zabilježenim intervalima svjetlosti. Nadalje, činjenica da meteori mijenjaju brzinu i visinu na kojoj se nalaze prilikom izgaranja u atmosferi, a sateliti se gibaju stalnom brzinom na konstantnoj nadmorskoj visini, čini razliku u kasnijim izračunima. Dakle, nakon provedenih mjerenja i izračuna, očekujemo dobiti jednaku stvarnu brzinu satelita na svakom od snimljenih intervala (na kojima se kutna brzina mijenja). No, o tome detaljnije u sljedećem dijelu.

3. Mjerenja i metode obrade

3.1. Korištena oprema

U pokušajima snimanja meteora roja Geminida korišten je fotoaparat Olympus E300 (14-45mm, f/3.5 - f/5.6) s postavljenom propelom ispred objektiv (dva rotirajuća krila izrađena tako da je objektiv fotoaparata otkriven 50% vremena). Fotoaparat i propela su za vrijeme snimanja postavljeni na odvojene fotostative kako vibracije propele ne bi utjecale na kvalitetu fotografija. Za snimanje je korištena ekspozicija 10 sekundi, otvor blende f/4 te udaljenost fokusa 14mm. Propela je izrezana iz bakelitne ploče debljine 3mm i promjera 280mm. Montirana je na mali asinhroni motor ventilatora (230Vac, 10W, 50Hz). Takav motor bez opterećenja ima oko 2800okr/min, a opterećen propelom znatne težine i promjera ima 1080okr/min (18okr/s) što bi bilo optimalno za snimanje meteora na ciljani način. Frekvencija propele (36Hz) izmjerena je stroboskopskom metodom pomoću aplikacije za mobitel (Slika 1) jer je mjerenje mehaničkim brojačem okretaja znatno usporilo motor te je mjerenje bilo pogrešno. Za napajanje motora korišten je UPS Best Patriot 250 jer na lokaciji osmatranja nije bio dostupan mrežni napon 230V.



Slika 1: Stroboskopsko određivanje frekvencije propele (lijevo) i korištena konstrukcija (desno)

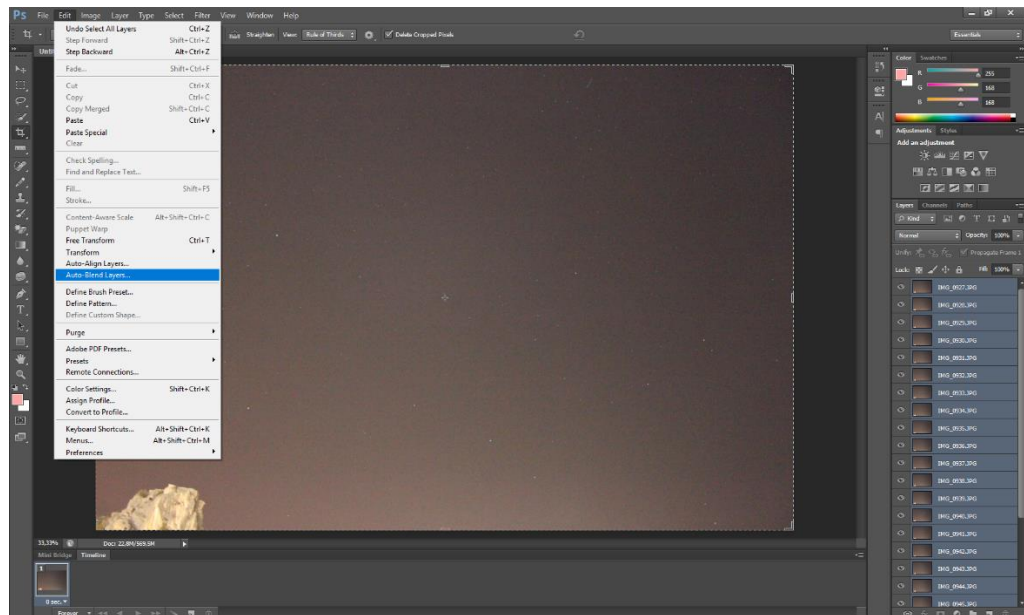
Zbog nedostatka rezultata, ova je metoda nažalost napuštena, tj. metodu snimanja trebalo je prilagoditi za satelite Iridium. Korišten je fotoaparat Canon EOS 500D (18 - 55mm, f/3.5 - f/5.6). (Slika 2) Snimane su uzastopne fotografije ekspozicije po 2 sekunde s osjetljivošću ISO 6400, pri čemu su nastajale 23 snimke kroz svaku minutu snimanja. Korišten je otvor blende f/3.5 te udaljenost fokusa 18mm. Ista oprema korištena je i pri snimanju satelita Iridium 52, ali je udaljenost fokusa bila 21mm.



Slika 2: Canon EOS 500D (18 - 55mm, f/3.5 - f/5.6)

3.2. Obrada fotografija

Na ranije opisan način snimljeni su sateliti Iridium 10 i Iridium 52. Dobiveno je po 25 iskoristivih fotografija koje su zbog preglednosti i jednostavnosti kasnijih mjerenja spojene u jednu fotografiju te zbog boljeg isticanja izvršena je inverzija boja u programu za obradu fotografija Photoshop. (Slika 3)



Slika 3: Spajanje fotografija u programu Photoshop

Rezultat su dvije fotografije na kojima su vidljive zvijezde u pozadini, od kojih su za kasniji izračun važne Sjevernjača i Dubhe (α UMa), te isprekidana putanja satelita. Tamniji dio putanje predstavlja povećanje intenziteta svjetlosti sa satelita, odnosno bljesak poznat kao Iridium flare. Da bi daljnja obrada bila preciznija, odabrana je fotografija Iridium 10 (Slika 5) jer je na njoj trag oštrij i jasnije određen od traga na fotografiji Iridium 52 (Slika 4) koja nije jednako dobro fokusirana.



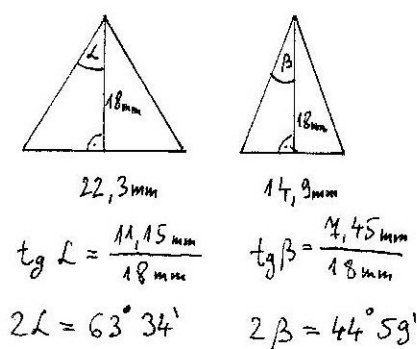
Slika 4: Iridium 52



Slika 5: Iridium 10

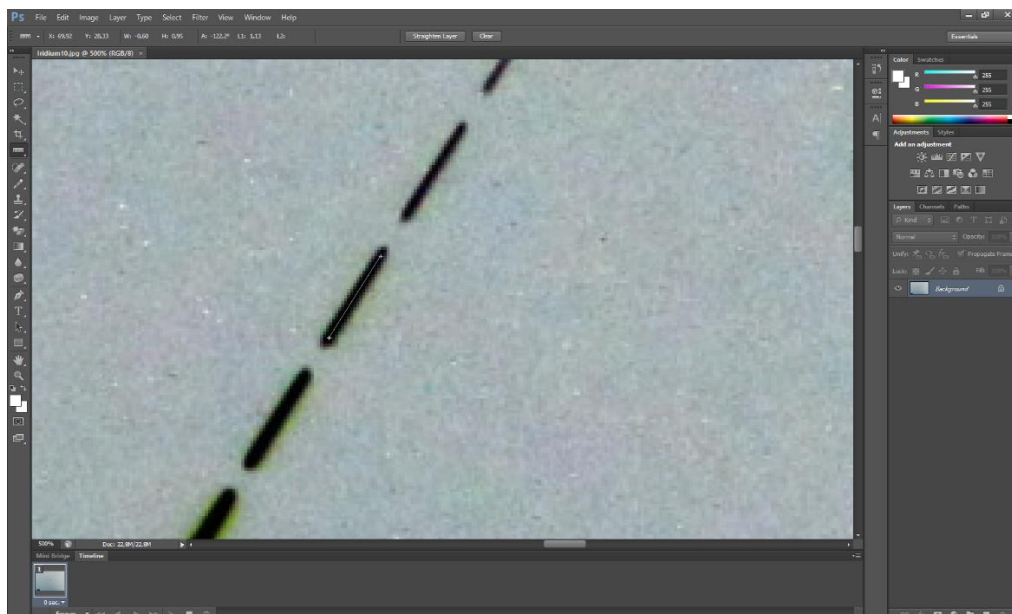
3.3. Izračun kutne brzine po intervalima

Za određivanje kutnog pomaka satelita za svaki interval, potrebno je poznavati kutni razmak poznatih nebeskih objekata. Kutni razmak Sjevernjače i zvijezde Dubhe (α UMa) prema programu Cartes du Ciel iznosi $28^{\circ}42'$. Međutim, do njihovog kutnog razmaka može se doći i uspoređujući sa širinom, odnosno visinom vidnog polja koje računamo iz poznate udaljenosti fokusa objektiva i dimenzija chipa. (Slika 6) Na ovaj način dolazimo do vrijednosti $26^{\circ}54'$ koja odstupa od stvarne zbog nepreciznosti aparata (udaljenost fokusa nije točno 18mm nego nešto manja vrijednost).

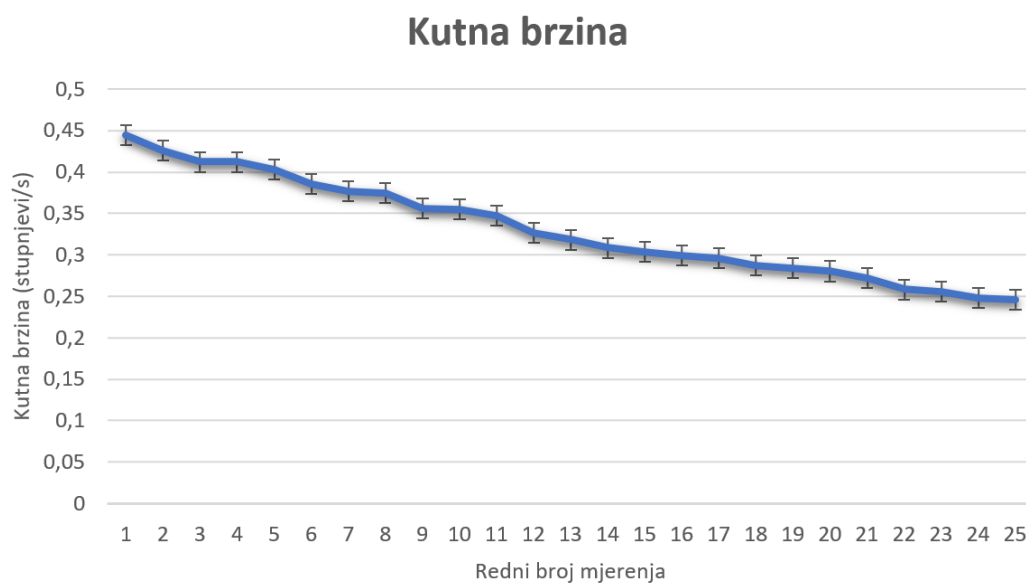


Slika 6: Izračun dimenzija vidnog polja (dimenzije chipa: 22.3 x 14.9mm)

Dakle, kutni razmak dviju poznatih zvijezda jasno vidljivih na fotografiji koristimo da bismo dobili kutni pomak svakog intervala traga. Stvarne (kutne) vrijednosti uspoređujemo s mjerom udaljenosti izmjerenom alatom ravnalo (Ruler tool) u Photoshopu. Važno je da se prilikom mjerenja ne označavaju krajevi vidljivih tragova nego se uzima u obzir širina traga kako je prikazano na sljedećoj slici. (Slika 7) Dobivene vrijednosti kutnih pomaka mijenjaju se od oko $0,9^{\circ}$ do oko $0,5^{\circ}$. Poznavanjem kutnog pomaka svakog intervala i duljine ekspozicije (2 sekunde za svaki interval), može se izračunati kutna brzina satelita. (Slika 8)



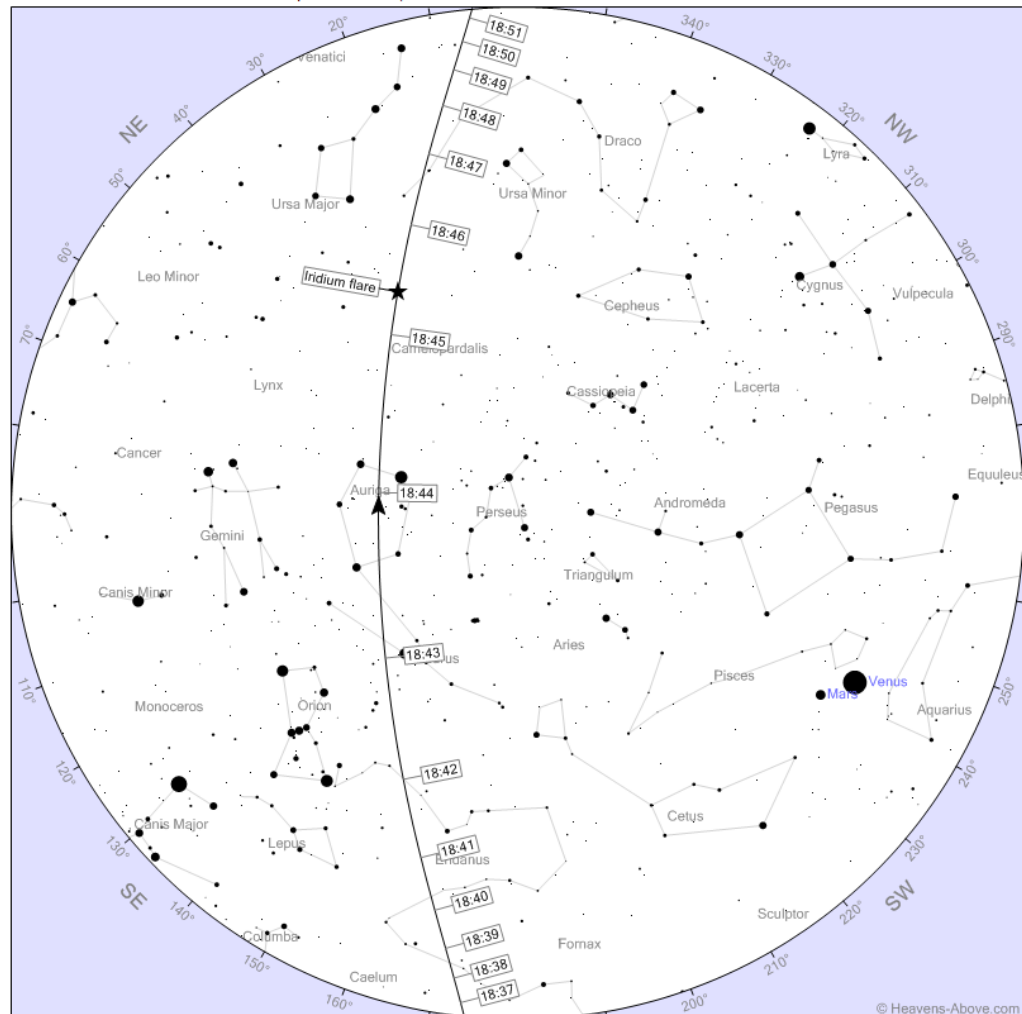
Slika 7: Mjerenje duljine intervala



Slika 8

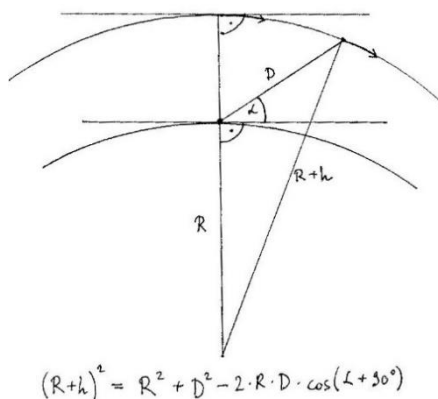
3.4. Izračun stvarne brzine

Za izračun stvarne brzine satelita, prvo treba izračunati stvarnu duljinu svakog pomaka. Pritom se treba uzeti u obzir da putanja snimanog satelita nije prošla kroz zenit. (Slika 9)



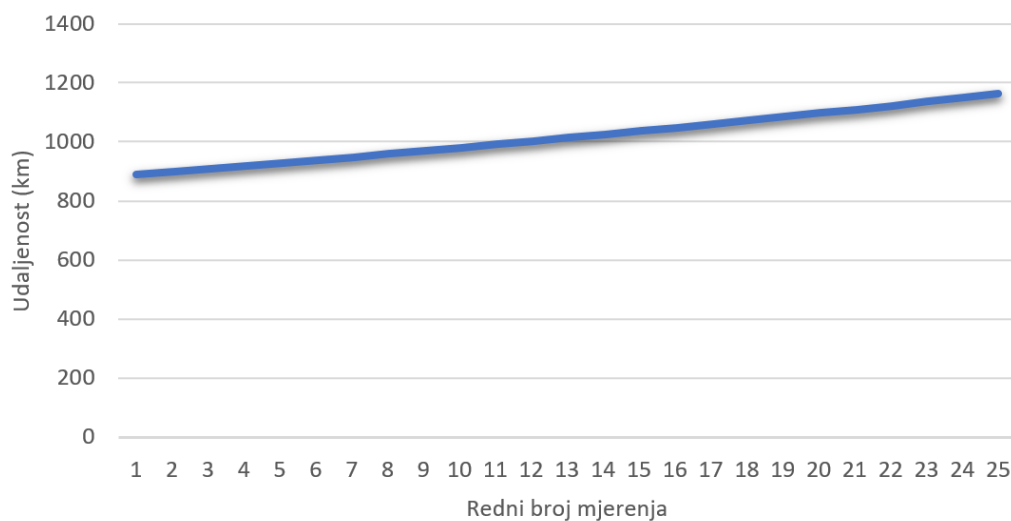
Slika 9: Putanja satelita Iridium 10 s lokacije snimanja

Visina pojedinog dijela traga izračuna se sličnom metodom kao kod određivanja kutnog pomaka, uspoređujući s poznatom visinom Sjevernjače na dan snimanja ($44^{\circ}11'$). Poznajući radijus Zemlje ($R = 6371\text{km}$) i nadmorsku visinu orbite satelita Iridium ($h = 780\text{km}$), pomoću kosinusovog poučka računa se udaljenost satelita (D) za svaku visinu (α) koja se postupno smanjuje. (Slika 10) Iz napisane kvadratne jednadžbe proizlaze dva rješenja za udaljenost od kojih je samo jedno fizikalno točno (odbacuje se negativno rješenje). Očekivano, udaljenost satelita se postupno i ravnomjerno povećava kako je prikazano na grafu. (Slika 11)



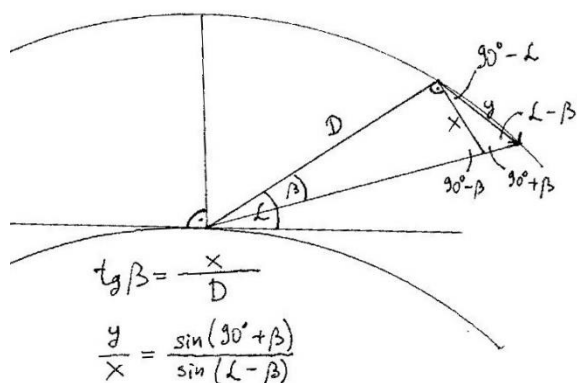
Slika 10: Skica izračuna udaljenosti satelita

Udaljenost Iridiuma

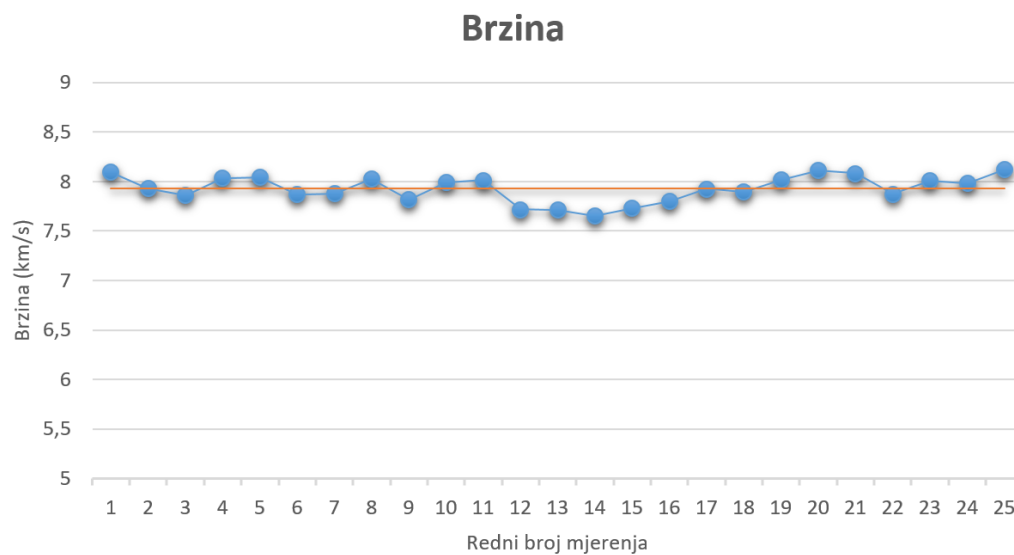


Slika 11

S dosad dobivenim podacima može se izračunati stvarni pomak satelita koristeći pritom geometriju i trigonometriju (tangens u pravokutnom trokutu, sinusov poučak). (Slika 12) Vremenski interval je za svaki snimljeni dio putanje jednak, odnosno iznosi 2 sekunde, pa se iz tih podataka dobije stvarna brzina satelita Iridium 10. (Slika 13)



Slika 12: Skica izračuna stvarnog pomaka satelita

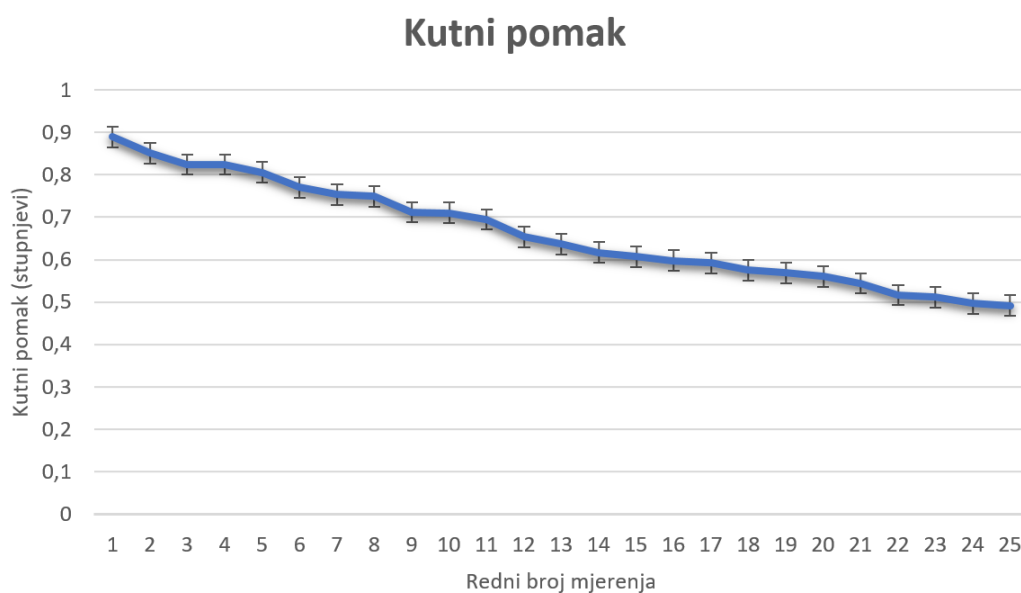


Slika 13: Dobivena stvarna brzina satelita Iridium 10 (plave točke su vrijednosti za pojedina mjerenja, a linija predstavlja srednju vrijednost brzine koja iznosi oko 7.9km/s)

4. Analiza rezultata

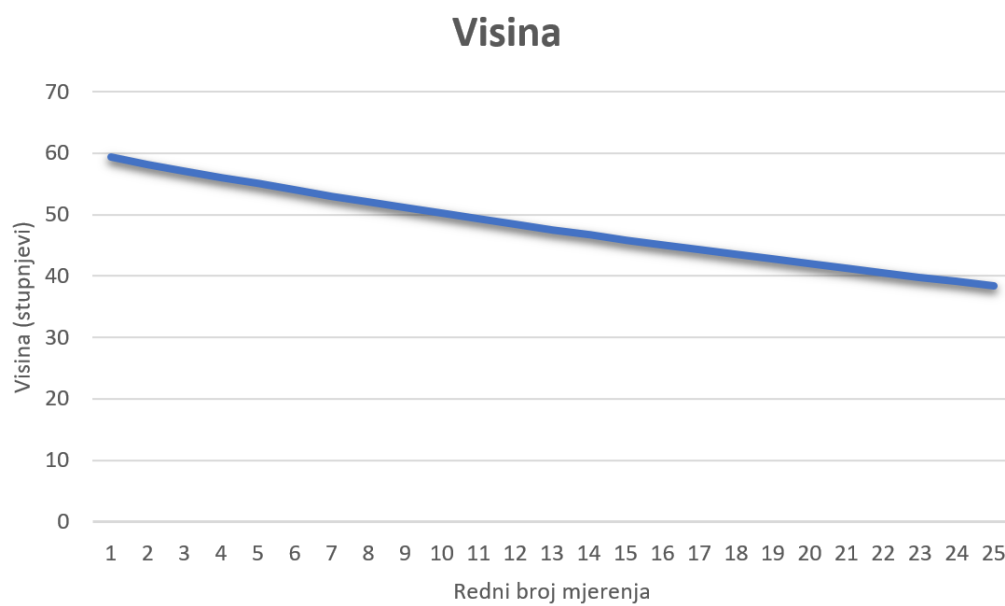
Stvarna brzina satelita Iridium (podatak iz izvora na internetu) iznosi malo manje od 27000km/h (7.5km/s). Prva prosječna brzina do koje se dolazi ranije opisanim mjerenjima i izračunima iznosi 9.4km/s što je prilično odstupanje (25,3%). Međutim, preciznijim mjerenjem duljina pojedinih tragova (kako je ranije naglašeno), dolazi se do prosječne brzine od 7.9km/s. To je znatno poboljšanje te odstupanje sada iznosi 5,3%.

Jasno je da je u svakom koraku postupka moglo doći do sitnih grešaka, a s obzirom na brojnost koraka, možemo objasniti ovo odstupanje. Već pri obradi fotografija primijeti se da teoretsko vidno polje fotoaparata ne odgovara savršeno vidnom polju obuhvaćenom fotografijama zbog nepreciznosti fokusne udaljenosti (koja je praktično nešto manja od formalne 18mm) što je moglo utjecati na izračune kod usporedbe s mjerama u programu Photoshop. Zanimljivo je primijetiti da je mjerljiva duljina dijela traga gdje se događa bljesak, odnosno Iridium flare, nešto veća zbog većeg intenziteta svjetlosti koju je fotoaparat uhvatio. Stoga se pri mjerenju od ruba do ruba dobiju nešto veće vrijednosti. Točnijim mjerenjem dolazi se do realnijih rezultata vidljivih na grafu kutnog pomaka po intervalima. (Slika 14)



Slika 14

Visina na kojoj se (s pozicije snimanja) događa bljesak je poznata i iznosi 45°. Prema tome je također zanimljivo primijetiti da je taj podatak vidljiv i iz ovako dobivenih rezultata na sljedećem grafu ovisnosti visine traga o protoku vremena (tj. za pojedine intervale). (Slika 15)



Slika 15

5. Zaključak

Iako nažalost nisam uspjela provesti originalnu ideju snimanja meteora poznatog roja uz korištenje duge ekspozicije i propele postavljene ispred objektiva (kako je ranije opisano), uspješno sam prilagodila osmišljene metode snimanja i obrade za umjetne satelite. Ovim je radom demonstrirana promjena kutne brzine i ujednačenost stvarne orbitalne brzine na primjeru bljeska satelita Iridium 10 snimanog 26. siječnja 2017. godine. U krajnjem rezultatu vidljivo je odstupanje od realnih podataka, ali to je objašnjivo sitnim pogreškama u mjerenjima i izračunu. Da bi se to odstupanje umanjilo, potrebno je riješiti probleme navedene u analizi rezultata, odnosno treba što preciznije znati udaljenost fokusa fotoaparata te imati bolji alat za mjerenje pomaka svakog snimljenog intervala.

Na ovom mi je istraživačkom radu bilo zanimljivo raditi te sam kroz cijelo iskustvo mnogo naučila. Nadam se u budućnosti pokušati provesti izračune za prvotnu ideju, odnosno da ću imati više sreće te nekom prilikom snimiti i meteore.

6. Životopis

Rođena sam 16. rujna 1998. godine u Splitu. Pohađala sam osnovnu školu Kman-Kocunar, a trenutno sam maturantica III. gimnazije u Splitu. Kroz osnovnu i srednju školu sudjelovala sam svake godine na natjecanjima iz matematike i fizike. Među najbolje uspjehe ubrajam plasman na neko od prva tri mjesta na županijskim natjecanjima, ali i sudjelovanje na državnim natjecanjima iz matematike u 7. osnovne, 1. i 4. razredu srednje te iz fizike u 8. razredu osnovne škole. Po završetku srednjoškolskog obrazovanja, planiram studirati fiziku na PMF-u u Splitu. Nadam se u budućnosti imati priliku baviti se znanstvenim radom na području fizike i astronomije.

7. Izvori

- 1) <http://www.heavens-above.com/?lat=43.5192&lng=16.463&loc=Unspecified&alt=35&tz=CET>
- 2) <http://earthsky.org/astronomy-essentials/everything-you-need-to-know-geminid-meteor-shower>
- 3) <http://www.imo.net/observations/methods/visual-observation/minor/>
- 4) <http://cmn.rgn.hr/>
- 5) programi Cartes du Ciel, Photoshop, MS Excel