

## Promena srednje magnituda Geminida tokom poslednjih dvadeset godina

---

*Analizirana je promena srednje magnituda Geminida tokom njihove aktivnosti u periodu od 1993. do 2011. godine, na osnovu podataka iz baze vizuelnih posmatranja meteora (VMDB) Međunarodne meteorske organizacije (IMO). U cilju što realnijeg sagledavanja njene promene uračunati su sistematski efekti koji bi mogli da utiču na kvalitet posmatračkih podataka – granična magnituda i iskustvo posmatrača. Promena je modelovana Lorencovom funkcijom, kojoj su dodati članovi kojima se koriguje uticaj granične magnituda i sistematskih grešaka posmatrača. Na osnovu dobijenih rezultata, detektovan je pad srednje magnituda od  $0.6^m$  na longitudi Sunca  $\lambda = 2625 \pm 03$ . Pokazano je da je promena srednje magnituda stvarna, i da nije izazvana iskustvom posmatrača.*

---

### Uvod

Geminidi su meteorski roj aktivan tokom decembra. Karakterišu ga visoka aktivnost i sjajni meteori. U maksimumu ZHR (Zenithal Hourly Rate, broj meteora na sat po satu u standardnim uslovima) iznosi između 120 i 130, što znači da spadaju među najaktivnije meteorske rojeve (Rendtel *et al.* 2011). Za razliku od ostalih velikih rojeva, uočeni su tek tridesetih godina XIX veka, dok se prva sistematična posmatranja vrše tek u drugoj polovini tog veka. Tada je konstatovana relativno niska aktivnost roja, ali sa jasno prepoznatljivim radijantom (Rendtel *et al.* 2011). Pretpostavlja se da Geminidi potiču od asteroida

3200 Phaeton, budući da imaju veoma slične orbitalne elemente. Geminide karakteriše kratkoperiodična orbita (period im je 1. 6 godina, odnosno  $a \sim 1.4$  a. j.) sa velikim ekscentricitetom  $e = 0.89$ , i malim perihelnim rastojanjem  $q = 0.14$  a. j. (Rendtel *et al.* 2011).

Činjenica da se orbita roja nalazi duboko u unutrašnjosti Sunčevog sistema, implicira nekoliko stvari. Svi evolucionarni procesi odigravaju se u kraćim vremenskim skalama, budući da i roditeljsko telo i meteoroidi čeće dolaze u oblast gravitacionog uticaja Zemlje i Venere. Dalje, efekti Sunčevog zračenja daleko su izraženiji, nego što je to slučaj sa dugoperiodičnim rojevima. Sve ovo uslovljava brzu promenu orbitalnih elemenata, pre svega velike poluose i ekscentriciteta, koja postaje primetna već nakon nekoliko orbitalnih perioda. U slučaju Geminida radi se o vremenskim periodima reda decenije (Rendtel 2004).

Jedan od efekata koji su posledica Sunčevog zračenja, Poynting-Robertsonov efekat, uslovljava da za čestice veličine meteoroida tokom vremena smanjuje velika poluosa. Efekat je izraženiji što je masa čestica manja, pa samim tim dolazi do separacije čestica po masi unutar roja.

Sve ovo skupa uslovljava pomeranje čvorova orbita čestica koje zavisi od njihove mase. To rezultuje kako pomeranjem vremena maksimuma roja, tako i promenljivošću udela sjajnih meteora tokom njihove aktivnosti na dužim vremenskim skalama.

Za praćenje evolucije meteorskih rojeva vizuelna posmatranja još uvek predstavljaju jedan od najvažnijih izvora empirijskih podataka. Prednost ovih posmatranja je veliki uzorak koji obezbeđuju i relativno dobra pokrivenost širokog intervala magnituda, odnosno sjaja. Stoga su vizuelna posmatranja (uz radarska) prilično zahvalna za praćenje promena maksimuma aktivnosti roja, odnosno pomeranje čvorova putanje meteoroida.

---

*Stefan Fuks (1995), Apatin, Trg oslobođenja 3/14, učenik 3. razreda Gimnazije „Nikola Tesla” u Apatinu*

Međutim, veliki nedostatak vizuelnih posmatranja, pogotovu za analizu raspodele čestica po masi, jeste njihova nepreciznost pri proceni sjaja. U osnovi, pouzdanost procene sjaja zavisi od iskustva posmatrača i uslova posmatranja.

Cilj ove analize jeste da se na osnovu podataka vizuelnih posmatranja razmotre promene srednje magnitude Geminida tokom poslednje dve decenije, a da se pri tome uračunaju sistematski efekti koji utiču na procenu sjaja.

Pretpostavljeno je da se ovi sistematski efekti mogu izraziti kroz odstupanje granične magnitude (LM) od standardne vrednosti  $LM=6.5$  i iskustvo posmatrača. (Granična magnituda predstavlja ličnu procenu kvalitet vidljivosti prilikom posmatranja i zavisi kako od realnih posmatračkih uslova, tako i od ličnih karakteristika posmatrača.) Koschak i Rendtel (1990) su ocenivali iskustvo posmatrača na osnovu broja svih meteora koje je posmatrač video do tada i na osnovu vremena koje je proveo posmatrajući, dok su u ovom radu kao pokazatelji iskustva uzeti samo podaci za posmatranja Geminida. Prema jednom kriterijumu selektovani su posmatrači koji su posmatrali određen broj noći, a prema drugom oni koji su videli određen broj meteora.

## Materijal i metode

Za istraživanje su korišćeni podaci iz Baze vizuelnih posmatranja meteora (Visual Meteor Database, VMDB) Međunarodne meteorske organizacije (International Meteor Organization, IMO). Obuhvaćen je period od 1993. do 2011. godine. U ovom periodu posmatralo je 788 posmatrača i viđeno je 172881 Geminida raspoređenih u 8588 intervala. Iz Baze su korišćeni kôd posmatrača, vreme izraženo u longitudi Sunca, godina posmatranja, LM, broj viđenih meteora i raspodela po magnitudama na osnovu čega je određena i srednja magnituda. Baza vizuelnih posmatranja meteora sadrži ove podatke za svaki interval. Prilikom višegodišnjeg praćenja meteorskog roja kao skala vremena koristi se longituda Sunca, budući da se njome direktno definiše položaj Zemlje na orbiti. Godina posmatranja se koristi da bi se videlo da li postoji promena solarne longitute na kojoj se javljaju sjajniiji meteori, LM za otklanjanje sistematske

greške prouzrokovane posmatračkim uslovima. Broj meteora viđenih u jednom intervalu predstavlja direktnu težinu tokom dalje statističke analize.

Za nalaženje položaja maksimalnog sjaja, zavisnost korigovane srednje magnitude od longitute Sunca fitovana je funkcijom Lorenzove raspodele. Jenniskens i saradnici (2000) koriste ovu funkciju za nalaženje položaja maksimuma Leonida. Osnovni oblik Lorencove funkcije:

$$f(\lambda; \lambda_0, w, a) = a \cdot \frac{w^2}{4(\lambda - \lambda_0)^2 + w^2} \quad (1)$$

gde je  $a$  – amplituda,  $w$  – poluširina raspodele, a  $\lambda_0$  – položaj ekstremuma, za potrebe ove analize je unekoliko modifikovan. Kako se zbog velikog pomeranja orbite Geminida trenutak maksimuma pomera svake godine (Rendtel 2004), formula (1) je korišćena u obliku koji preklapa sve podatke posmatranja sa podacima dobijenim 2000. godine. Krajnja formula koja je korišćena za fitovanje ima oblik:

$$\bar{m}_k = \bar{m}_{65} + k \cdot (LM - 65) + \frac{1}{\pi} \cdot \frac{2Aw}{4(\lambda - (\lambda_0 + \Delta\lambda_0(T - 2000)))^2 + w^2} + \Delta m_i \quad (2)$$

gde je  $\bar{m}_k$  – korigovana srednja magnituda,  $\bar{m}_{65}$  – srednja magnituda kad je granična magnituda  $LM = 6.5$ ,  $k$  – koeficijent kojim se koriguje uticaj LM na srednju magnitudu,  $\lambda$  – longituda Sunca,  $T$  – godina posmatranja,  $A$  – parametar amplitude ( $A = \frac{1}{2} \cdot \pi w a$ ),  $\lambda_0$  – longituda Sunca kada srednja magnituda ima ekstremum,  $\Delta\lambda$  – godišnja promena longitute,  $\Delta m_i$  – korekcija srednje magnitude za svakog pojedinačnog posmatrača.

Pri svakoj iteraciji formule (1) praćen je rezidual posmatranih vrednosti srednjih magnituda, tj. odstupanje tih vrednosti od vrednosti fita. Sistematska greška koju posmatrač pravi prilikom ocene sjaja meteora je računata kao aritmetička sredina reziduala njegovih intervala otežinjena brojem viđenih meteora. Srednja magnituda je korigovana tako što je sistematska greška posmatrača sabrana sa posmatranom srednjom magnitudom intervala. Proces je ponavljan dok promena koeficijenta kojim se koriguje uticaj LM na srednju magnitudu nije postala manja od 0.001.

Izdvojeni su posmatrači koji su posmatrali bar tri noći jedne godine i bar jednu noć koje druge godine (u daljem tekstu „ozbiljni posmatrači”). Ozbiljnih posmatrača bilo je 76, videli su 75310 meteora u 3689 intervala. Prema drugom kriterijumu su selektovani posmatrači koji su videli najviše meteora (sortirani su prema broju viđenih meteora i izdvojeni su oni koji su videli 50% od ukupnog broja, u daljem tekstu „posmatrači koji su videli 50% meteora”). Njih je bilo 54 i videli su 86585 meteora u 3822 intervala. Za „ozbiljne posmatrače” i za posmatrače koji su videli 50% meteora urađen je isti postupak kao za sve posmatrače.

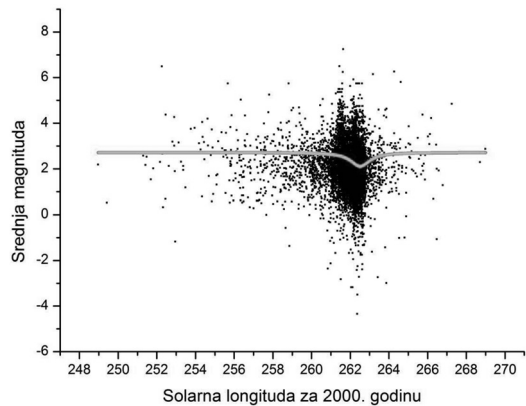
Opadanje srednje magnitude, odnosno amplituda raspodele, iznosi:

$$a = \frac{2A}{\pi w} \quad (3)$$

Vrednost maksimuma sjaja, odnosno ekstremuma srednje magnitude predstavlja zbir amplitude (3) i srednje magnitude za  $LM = 6.5$ .

## Rezultati

U tabeli 1 date su vrednosti parametara fita u relaciji (2) za sve tri selkcije podataka. Rezultati pokazuju da se za sve tri grupe podataka maksimum sjaja, odnosno minimum srednje magnitude nalazi na longitudi Sunca  $\lambda_0 = 262.5$ . Takođe, i pad srednje magnitude je, u granicama greške, isti za sve tri gupe podataka, i to opadanje za nefiltrirane podatke iznosi  $0.6 \pm 0.2$ , za pos-



Slika 1. Zavisnost srednje magnitude od longituge Sunca za sve posmatrače

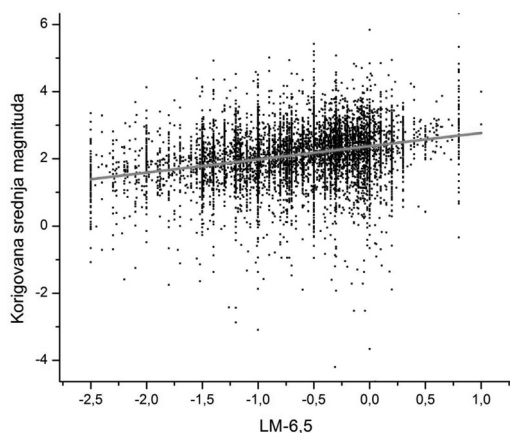
Figure 1. Dependency of mean magnitude from Solar longitude for all observers

matrače koji su videli 50% meteora  $0.6 \pm 0.2$ , a za „ozbiljne posmatrače”  $0.7 \pm 0.2$ . Na slici 1 dat je grafik zavisnosti srednje magnitude od longituge Sunca za nefiltrirane podatke, odnosno sve posmatrače. Skoro identičan oblik imaju i zavisnosti za preostale dve grupe filtriranih podataka.

Godišnje pomeranje minimuma srednje magnitude  $\Delta\lambda$  uglavnom je u granicama greške za sve tri grupe podataka.

Table 1. Vrednosti parametara fita u jednačini (2)

parametar	Svi posmatrači		Posmatrači koji su videli 50% meteora		„Ozbiljni posmatrači”	
	vrednost	greška	vrednost	greška	vrednost	greška
$\bar{m}_{6.5}$	2.72	0.03	2.85	0.04	2.77	0.07
$k$	0.39	0.02	0.46	0.03	0.39	0.02
$w$	1.2	0.1	1.1	0.1	1.3	0.2
$A$	-1.1	0.2	-1.1	0.3	-1.4	0.3
$a$	-0.6	0.2	-0.6	0.2	-0.7	0.2
$\lambda_0$	262.5	0.2	262.5	0.3	262.5	0.2
$\Delta\lambda$	0.002	0.005	-0.003	0.005	0.007	0.005



Slika 2. Zavisnost korigovane srednje magnitude od LM-6.5 za sve posmatrače

Figure 2. Dependency of corrected mean magnitude from LM-6.5 for all observers

Zavisnost korigovane srednje magnitude od odstupanja granične magnitude od standardne vrednosti ( $6.5^m$ ) data je na slici 2. Iz tabele 1 se vidi da se pri promeni LM za 1, srednja magnituda menja za  $k = (0.39 \pm 0.02)^m$ .

## Zaključak i diskusija

Na osnovu parametara fita i amplituda grafika se vidi da je opadanje srednje magnitude tokom aktivnosti realna pojava i nije prouzrokovano iskustvom posmatrača. Dobijeno je da je srednja magnituda minimalna  $\bar{m}_{\min} = 21 \pm 0.2$  za  $\lambda = 2625 \pm 0.2$ , za sve posmatrače. Geminidi imaju maksimalan ZHR na  $\lambda = 26216 \pm 0.04$  (Rendtel 2004), znači da nije moguće zaključiti da li je srednja magnituda minimalna za maksimalan ZHR ili ne. Uchiyama (2010) je pokazao da su meteori magnitude  $-2$  ili svetliji najaktivniji u intervalu od  $\lambda = 262.4$  do  $\lambda = 262.7$ , što odgovara rezultatima dobijenim u ovom istraživanju. Veći broj, sjajnijih meteora, odnosno većih čestica, ukazuje na opadanje populacionog indeksa, što je Uchiyama (2010) i pokazao kada je dobio da je populacioni indeks najmanji za  $\lambda = 262.6$ . Nije uočena statistički značajna promena longitude

Sunca za minimum srednje magnitude u analiziranom periodu. Godišnje pomeranje maksimuma sjaja (iz podataka za sve posmatrače) iznosi  $\Delta\lambda = 0.002 \pm 0.005$ .

Vrednost koeficijenta kojim se pokazuje promena srednje magnitue od LM različit od 1, što ukazuje da LM nije jedini ograničavajući faktor za detekciju meteora slabog sjaja. Dobijena vrednost ovog koeficijenta je značajno manja od 1, što zahteva dodatna istraživanja, koja mogu usloviti promene postojećeg metoda za standardizaciju podataka u cilju procene aktivnosti meteorskih rojeva.

**Zahvalnost.** Zahvaljujem se Igoru Smoliću na ideji i usmeravanju, a Dušanu Pavloviću na pomoći i podršci.

## Literatura

- Jenniskens P., Crawford C., Butow S. J., Nugent D., Koop M., Holman D., Houston J., Jobse K., Kronk G., Beatty K. 2000. Lorentz Shaped Comet Dust Trail Cross Section from New Hybrid Visual and Video Meteor Counting Technique – Implications for Future Leonid Storm Encounters. *Earth, Moon, and Planets*, **82/83**: 191.
- Koschack R., Rendtel J. 1990. Determination of spatial number density and mass index from visual meteor observations (II). *WGN, Journal of the International Meteor Organization*, 18: 119.
- Rendtel J., Arlt R., McBeath A. 2011. *Handbook for Visual Meteor Observers*. Potsdam: IMO
- Rendtel J. 2004. Almost 50 years of Geminid observations. *WGN, Journal of the IMO*, 32: 57.
- Uchiyama S. 2010. Geminids ZHR activity profiles as a function of magnitude. *WGN, Journal of the IMO*, **38**: 31.
- Wyatt S. P., Whipple F. L. 1950. The Poynting Robertson effect on meteor orbits. *Astrophysics Journal*, **111**: 114.

---

*Stefan Fuks*

## Change of Geminid Mean Magnitude During the Last Twenty Years

The change of the mean magnitude of Geminids was analyzed during their activity in the period from 1993 to 2011, based on data from the Visual Meteor Database (VMDB) of the International Meteor Organization (IMO). In order to provide the most realistic perception possible of this change, systematic effects that could affect the quality of observational data were calculated for – limiting magnitude and the experience of the observer. The change was modeled using the Lorentzian function, with added elements to correct for the influence of the limiting magnitude and the systematic observers' errors. Based on the obtained results, a drop of mean magnitude of  $0.6^m$  at Solar longitude  $256.2 \pm 0.3$  was detected. These results are consistent with Uchiyama's (2010) results. It is shown that the change of median magnitude is real, and that it is not a consequence of the experience of observers. 