

Modeliranje oblika i karakteristika površine asteroida na osnovu optičkih krivih sjaja

Mihailo Čubrović

0. Pregled sadržaja

Ovaj članak predstavlja kratak pregled metoda i tehnika za modeliranje oblika i površine asteroida. U njemu su obrađeni samo metodi koji se oslanjaju na krive sjaja u optičkom opsegu, jer su one dugo vremena bile glavni izvor informacija o morfologiji asteroida. Pojedine tehnike koje u poslednje vreme dobijaju sve veći značaj (npr. radiometrijska i polarimetrijska posmatranja), kao i neki tradicionalni postupci (npr. modeliranje na osnovu posmatranja okultacija) su izostavljeni i biće obrađeni drugom prilikom. Uključeni su i neki metodi (npr. metodi epohe) koji se ne koriste za opisivanje oblika, već služe samo za računanje orientacije ose asteroida, pošto određivanje polarne orientacije predstavlja obavezan deo morfološkog modeliranja.

Prvi odeljak donosi kratak istorijat istraživanja na ovom polju planetarne astronomije i objašnjava svrhu modeliranja asteroida. U drugom su izložene fizičke osnove na kojima se zasnivaju tehnike modeliranja, kao i značajniji zakoni odbijanja svetlosti sa površine asteroida. Ovaj deo je proširen, i prevazilazi granice neophodne za izlaganje glavne teme, pa može biti koristan čitaocu koga generalno interesuju problemi odbijanja svetlosti sa različitih površina. U trećem odeljku su obrađeni metodi epohe, a u četvrtom metodi amplitude-magnitude. U petom su izložene neke novije varijante ovih metoda, pre svega njihove kombinacije. U šestom odeljku izloženi su matematički modeli površine asteroida i zadatak tzv. modeliranja površine. U sedmom su izloženi najvažniji metodi modeliranja površine. Osmi odeljak predstavlja primer na kojem su, primenom na realne podatke, ilustrovane neke od opisanih tehnika. Deveti odeljak sadrži predlog literature za detaljnije proučavanje, kao i literaturu kojom se autor služio pri pisanju članka. Matematički formalizam koji nekim čitaocima može biti od koristi, a svojom detaljnošću opterećuje osnovni tekst, ostavljen je za dodatke na kraju članka.

1. Značaj i istorijski razvoj modeliranja asteroida

Istraživanja asteroida dugo su se svodila na računanje njihovih orbita, a kasnije i detaljnija astrodinamička istraživanja. Fizičke osobine asteroida, zbog njihovih malih dimenzija i niskog sjaja, dugo su bile

nedostupne posmatračkim tehnikama. Teorijska predviđanja ovih karakteristika teško su mogla biti proverena, jer su u većini slučajeva bila bazirana na nedovoljno utemeljenim hipotezama. Imajući u vidu da je astrofizika Sunčevog sistema, sve do pojave prvih ozbiljnijih fizičkih teorija o postanku i karakteristikama tela Sunčevog sistema (npr. Alfenova magnetohidrodinamička teorija, Savić-Kašaninova teorija unutrašnje strukture planeta i Lume-Bauelova teorija odbijanja svetlosti sa površine planeta), bila relativno slabo razvijena – shvatljivo je odsustvo većeg zanimanja za proučavanje asteroida. Tek sedamdesetih godina XX veka postaje jasna veza između morfologije asteroida i njihovog porekla, kao i relacija prema nastanku i razvoju celog Sunčevog sistema. Istraživanja u oblasti magnetohidrodinamike, kao i rezultati teorije haotičnih kretanja, pokazali su da asteroidi predstavljaju značajan izvor podataka o ranom Sunčevom sistemu, i da njihove morfološke karakteristike mogu da ukazuju na dinamičku i fizičku evoluciju našeg planetarnog sistema. U ovo vreme dolazi do primetnog razvoja posmatračke opreme i posmatračkih tehniki. Precizni fotometri, a potom CCD kamere, omogućili su dobijanje pouzdanijih krivih sjaja. Time se aktuelizuje problem modeliranja asteroida iz krivih sjaja pa su do kraja devedesetih godina stvoreni precizni modeli za značajan broj asteroida. Veliki broj modela daje dovoljno podataka za statističku analizu, što može da bude značajno za razvoj teorije sudsarne evolucije asteroida. U poslednje vreme javljaju se ideje da se pomoću preciznih modela odredi gustina asteroida, što bi pomoglo u određivanju njihovog hemijskog sastava. Inače, poznavanje hemijskog sastava asteroida, kao i hemija Sunčevog sistema uopšte, još uvek nemaju dovoljnu teorijsku utemeljenost. Kako zbog brojnosti, tako i zbog njihove osetljivosti na poremećaje, modeliranje oblika i površine asteroida predstavlja važan izvor informacija o evoluciji Sunčevog sistema. Ovaj članak je ograničen isključivo na tehnike modeliranja i ne dotiče primenu dobijenih rezultata, kao ni posmatračke tehnike.

Prvo teorijsko razmatranje modela asteroida dao je u svom pionirskom radu Henri Noris Rasel (Russell 1906). Raselov članak neopravданo je ostao nezapažen, kako u vreme objavljivanja, tako i danas. Ovaj rad o modeliranju, bio je (uprkos mnoštvu grešaka!) veoma napredan u odnosu na mnoge kasnije radove, iako je nastao u doba kada fotometrija asteroida praktično nije rađena, pa nisu postojale ni jasne ideje čemu bi modeli služili. Verovatno pod uticajem rezultata Minkovskog u diferencijalnoj geometriji, on je uveo svojevrsno modeliranje površine, dok su kasniji metodi obično koristili znatno grublji pristup. Detaljna diskusija svih ovih pristupa data je u odeljcima 3-4 i 6-7.

Sistematsko posmatranje krivih sjaja započelo je tek sedamdesetih godina, uglavnom u cilju određivanja perioda rotacije. Prvi ozbiljniji rad o modeliranju asteroida, posle Raselovog, dao je ** Tejlor (Taylor 1973). Tejlorov pristup, tzv. metod epohe (v. odeljak 3) bio je znatno grublji, ali je dao prvi upotrebljiv postupak za modeliranje asteroida (za-

pravo određivanje orijentacije pola). Početkom osamdesetih, interesovanje za ovaj problem postaje sve veće. U ovom periodu se pojavio i drugi klasični metod, metod amplitude-magnitude (v. odeljak 4), koji je omogućavao da se asteroid aproksimira troosnim elipsoidom. Krajem osamdesetih vršena su intenzivna snimanja krivih sjaja koje su obrađivane metodama epohe i amplitude-magnitude. Početkom devedesetih godina razvijeni su prvi metodi za modeliranje površine, od kojih većina koristi Raselov pristup (naravno, uz korišćenje modernijeg matematičkog formalizma). Istovremeno su razvijeni i prvi metodi za modeliranje dvojnih asteroida.

Generalno, može se reći da je modeliranje asteroida veoma slabo razvijena oblast. Ovakvo stanje delimično je prouzrokovano malim interesovanjem za ovu oblast, ali ozbiljniji razlog predstavlja spori napredak matematičkih i (pre svega) numeričkih tehnika. Numerika se trenutno pokazuje kao presudan faktor od kojeg zavisi poboljšanje postojećih, pa i stvaranje novih metoda.

2. Fizičke teorije odbijanja svetlosti sa površine asteroida

Prva razmatranja vezana za odbijanje svetlosti sa površine asteroida i površine planeta uopšte, datiraju još iz druge polovine devetnaestog veka. Ona nisu uključivali nikakvu fizičku teoriju, već su se zasnivala na intuitivnim prepostavkama i geometrijskim aproksimacijama. Oslonac su im bila dva zakona odbijanja, Lambertov i Lomel-Zeligerov.

Lambertov zakon je dat izrazom:

$$dE = \frac{A}{\pi} \cos \iota \cos \varepsilon ds \quad (1)$$

Element površine i intenzitet svetlosti koju on odbije označeni su sa ds i dE , redom. Sa A je označen sferni albedo (odnos primljene i odbijene svetlosti u svim pravcima), a sa ε i ι – redom odbojni i upadni ugao. Ovaj zakon sledi neposredno iz osnovnih zakona optike i definicije sfernog albeda, a važi za glatku, jednobojnu, homogeno osvetljenu sferu. Istoriski značaj ovog zakona je u tome što je omogućio da se daju kvantitativne procene sjaja asteroida u ranoj fazi njihovog proučavanja; danas se retko koristi za modeliranje.

Lomel-Zeligerov (Lommel-Seeliger) zakon je postavljen 1877. godine i predstavlja daleko prihvatljiviju aproksimaciju u poređenju sa Lambertovim. On se odnosi na proizvoljno glatko telo, osvetljeno tačkastim izvorom svetlosti. Osvetljenost elementa površine data je izrazom:

$$dE = c \frac{\cos \iota \cos \varepsilon}{\cos \iota + \cos \varepsilon} ds \quad (2)$$

Konstanta c je povezana sa geometrijskim albedom (odnos udela odbijene svetlosti posmatranog tela i udela svetlosti koju odbije beli disk na jediničnom rastojanju od Sunca) i još nekim karakteristikama površine; u

većini slučajeva tačna vrednost osvetljenosti nije značajna, pa se konstanta izostavlja, ili se uzima proizvoljna, iz numeričkih razloga pogodna vrednost. Važna osobina ovog zakona (koja je našla primenu kod metoda amplitude-magnitude) jeste da se za opoziciona posmatranja ($i = \varepsilon$) dobija tzv. geometrijsko odbijanje svetlosti, pri kome je ukupna osvetljenost asteroida proporcionalna projekciji poprečnog preseka. Inače, ovakav oblik Lomel-Zeligerovog zakona, nešto opštiji od prvobitnog Lomelovog i Zeligerovog pristupa, u literaturi se naziva i Hapke-Irvinov zakon (Hapke-Irvine).

Mada su se još početkom osamdesetih godina pojavili mnogo bolji zakoni, zasnovani na fizičkim teorijama odbijanja svetlosti, Lomel-Zeligerov zakon je sve do danas ostao aktuelan, pre svega zato što je zbog svoje jednostavnosti pogodan kod nekih komplikovanih numeričkih računa. Ipak, treba imati na umu njegovu inferiornost u odnosu na novije zakone odbijanja. Može da koristi u slučajevima kada bi primena složenijeg zakona bila previše komplikovana, ili bi bila besmislena zbog male tačnosti metoda.

Fizičku teoriju koja je do sada najbolje opisala sve važne efekte pri odbijanju svetlosti sa površine planeta (i koja je dovoljno opšta da objasni odbijanje svetlosti, kako sa površine asteroida, tako i sa površine planeta i satelita) dali su 1981. godine Lume i Buel (Lumme, Bowell 1981a, b). Ova teorija uspeva da objasni, kako krive sjaja, tako i fazne krive (tj. zavisnost magnitudo redukovane na jedinično rastojanje od Zemlje i Sunca od faznog ugla). Osnovni cilj članka ne dozvoljava detaljniji opis ove teorije. Ipak, zbog značaja koji ima u modeliranju asteroida, biće date njene osnovne karakteristike i najvažnije primene.

Lume-Buelova teorija je pretendovala da, pre svega, objasni fazne krive. Naime, iz posmatračkih podataka može se zaključiti da redukovana magnituda uglavnom linearno opada sa povećanjem faznog ugla, osim za uglove manje od 5° – 15° (vrednost ovog praga varira kod različitih asteroida), kada je redukovana magnituda veća nego što to predviđa linearna zavisnost. Ova pojava poznata je kao opozicioni efekat ili, u starijoj literaturi, kao opozicioni skok (engl. opposition spike).

Lume-Buelova teorija tretira površinu planete kao sloj čestica, proizvoljnog nepravilnog oblika i odredene gustine "pakovanja", koje zauzimaju određeni deo ukupne zapremine površinskog sloja (u daljem tekstu – zapreminska gustina, engl. volume density). Na površini postoje udubljenja (engl. holes). Globalne optičke karakteristike površine određuju se statističko-probabilističkim postupkom, a u obzir se uzimaju pojedinačno i višestruko odbijanje (engl. single scattering, multiple scattering), kao i uticaj senki (engl. shadowing), zapreminska gustina i krševitost površine (engl. surface roughness). Detalji vezani za fizički smisao izraza za osvetljenost elementa površine su komplikovani, a mogu sa naći u originalnom radu Lumea i Buela (Lumme, Bowell 1981a). Osvetljenost elementa površine ovde zavisi i od faznog ugla α .

Optičke karakteristike površine opisuje pet parametara. To su albedo jednostrukog odbijanja ϖ_o (engl. single scattering albedo), faktor asimetrije g (engl. assymetry factor), zapreminska gustina D , udeo površine pokriven šupljinama q i krševitost ρ . Osvetljenost elementa površine je data sa:

$$dE = \frac{\varpi_o}{4\pi} \frac{\cos i \cos \varepsilon}{\cos i + \cos \varphi} (2\cos \varphi_S + \varphi_M) ds \quad (3)$$

Parametar φ_S odgovara jednostrukom odbijanju i iznosi:

$$\varphi_S = \varphi_{HG} \varphi_{SH} \varphi_R \quad (4)$$

pri čemu parametri sa desne strane označavaju, redom, Henji-Grinštajnovu (Henyey-Greenstein) faznu funkciju, funkciju koja opisuje efekte senki i funkciju koja odgovara efektima krševitosti:

$$\varphi_{HG} = \frac{1-g^2}{(1-g^2 + 2g \cos \alpha)^{\frac{3}{2}}} \quad (5)$$

$$\varphi_{SH} = \exp\left(\frac{-\sin \alpha}{0.636D + 1.828 \sin \alpha}\right) \quad (6)$$

$$\varphi_R = \frac{1+(1-q) \frac{(\cos^2 i + \cos^2 \varepsilon - 2\cos i \cos \varepsilon \cos \alpha)^{\frac{1}{2}}}{\cos i \cos \varepsilon}}{1+pq \frac{(\cos^2 i + \cos^2 \varepsilon - 2\cos i \cos \varepsilon \cos \alpha)^{\frac{1}{2}}}{\cos i \cos \varepsilon}} \quad (7)$$

Funkcija φ_M opisuje višestruko odbijanje i može se aproksimirati sa

$$\varphi_M = h(\cos i) h(\cos \varepsilon) - 1 \quad (8)$$

gde h označava generalizaciju Čandrakeharove (Chandrasekhar 1950) funkcije i iznosi:

$$h(x) = 1 + a_0 x + a_1 x^2 \quad (9)$$

pri čemu je:

$$a_0 = \frac{\varpi_o}{1.108 \exp\left(2.464|g|^{\frac{5}{2}}\right) - 0.640\varpi_o^2 \exp\left(3.296|g|^{\frac{5}{2}}\right)} \quad (10)$$

$$a_1 = -\varpi_o (0.624 + 0.240g + 0.256g^2) \quad (11)$$

Naročito su važni izrazi za integralni sjaj kojima se mogu objasniti fazne krive, a koji su prihvaćeni kao standard za izražavanje sjaja aste-

roida (tzv. H-G sistem). Normirani integralni sjaj pri faznom uglu α , u formalizmu Lume-Bauelove teorije tradicionalno obeležen sa Φ , predstavljen kao kombinacija jednostrukog i višestrukog odbijene svetlosti, iznosi

$$\Phi(\alpha) = (1 - G)\Phi_S(\alpha) + G\Phi_M(\alpha) \quad (12)$$

Navedeni izraz poznat je kao Lume-Bauelov zakon. Ovde su parametri Φ_S i Φ_M veličine koje zavise od faznog ugla i odgovaraju integralnom sjaju u slučaju jednostrukog, odnosno višestrukog odbijanja. G je parametar nagiba (slope parameter); to je težinski parametar između Φ_S i Φ_M , uglavnom statističke prirode. U praksi se određuje iz posmatračkog materijala; uzima se da je konstantan za dati asteroid (tačnost ove tvrdnje je diskutabilna, ali se za većinu praktičnih primena Lume-Bauelovog zakona može smatrati bar kao dobra aproksimacija). Ovaj parametar odgovara nagibu linearne dela fazne krive. Najpouzdaniji izvor vrednosti za G je Lagerkvistov fotometrijski katalog asteroida (Lagerkvist *et al.* 1996).

Izrazi za Φ_S i Φ_M uključuju, ponovo, težinsko slaganje dva efekta: uticaja senki i uticaja neravnina površine:

$$\Phi_i = W\Phi_{is} + (1 - W)\Phi_{il}, \quad i = S, M \quad (13)$$

$$\Phi_{is} = 1 - \frac{C_i \sin \alpha}{0.119 + 1341 \sin \alpha - 0.754 \sin^2 \alpha}, \quad i = S, M \quad (14)$$

$$\Phi_{il} = \exp[-A_i (\tan \frac{\alpha}{2})^{B_i}], \quad i = S, M \quad (15)$$

Težinski parametar W zavisi samo od faznog ugla i može se računati po obrascu:

$$W = \exp(-90.56 \tan^2 \frac{\alpha}{2}) \quad (16)$$

Parametri A_i , B_i , C_i su bezdimenzione konstante i određene su teorijski, a koriguju se iz dugoročnih posmatranja. Trenutno prihvaćene vrednosti su (Lagerkvist, Magnusson 1990):

$$\begin{aligned} A_s &= 3.332 \\ A_m &= 1.862 \\ B_s &= 0.631 \\ B_m &= 1.218 \\ C_s &= 0.986 \\ C_m &= 0.238 \end{aligned}$$

Na kraju, treba pomenuti i Hapkeov zakon (Hapke 1981), razvijen približno istovremeno sa Lume-Bauelovim, koji uvodi pet slobodnih parametara: albedo jednostrukog odbijanja ϖ_0 , širinu opozicionog talasa h (engl. opposition surge width), amplitudu opozicionog talasa B_0 (engl. opposition surge amplitude), čestični fazni parametar g (engl. sin-

gle-particle phase function parameter) i srednji nagib makroskopske krševitosti $\bar{\theta}$ (engl. average slope of macroscopic roughness). Ovaj zakon se takođe pokazao kao dobar, pa se često koristi pri modeliranju, ali po opštosti i primenljivosti na fazne krive zaostaje za Lume-Bauelovim zakonom.

3. Metod epohe

Najstariji metod za modeliranje asteroida, razvijen još krajem sedamdesetih godina, a poboljšan tokom osamdesetih, jeste metod epohe. Ovaj metod predstavlja pokušaj da se iz krivih sjaja dobije što više informacija uz što manji broj polaznih pretpostavki, a da se pri tom očuva jednostavnost. Posle Tejlorovog rada (Taylor 1973), objavljeno je nekoliko poboljšanja ovog metoda (Taylor, Tancredi 1983; Michalowski 1988; Drummond *et al.* 1988). Malobrojni noviji radovi na ovu temu (npr. Michalowski 1993) ne donose značajnija poboljšanja. Ovaj metod je našao svoje mesto tek u kombinaciji sa metodima amplitude-magnitude (v. odjeljak 5). Mada daje samo sinodički period, smer rotacije i polarnu orientaciju, ovaj metod je bio važan korak ka modeliranju oblika asteroida, a u kombinaciji sa drugim metodima, bitno je doprineo stvaranju savremenih postupaka za modeliranje.

Postulati ovog metoda su:

- na krivoj sjaja postoji tačka sa konstantnom fazom koja se može detektovati na svim posmatranim krivama (u praksi se za ovu tačku gotovo uvek uzima maksimum)
- ne postoji precesija pri kretanju asteroida

Obe navedene aproksimacije ne predstavljaju problem: druga je zadovoljena za sve asteroide, osim retkih izuzetaka (na primer kontaktni dvojni asteroidi koji su i inače van domaćaja klasičnih metoda), a prva se svodi na odsustvo globalne konkavnosti oblika, što ne važi jedino za veoma male asteroide, tj. one manje od 10 km (Kaulla 1996).

Osnovna jednačina ovog metoda je tzv. jednačina fotometrijske astrometrije koja daje zavisnost sideričkog perioda od geometrije posmatranja i epoha maksimuma:

$$P_{\text{sid}} = \frac{\Delta T_c}{\Delta N \pm \left(\frac{\Delta L_c}{2\pi} + \frac{\Delta \delta}{2\pi} + \Delta n \right)} \quad (17)$$

Pri tome je ΔT_c – vremenski interval između dve epohe (tj. dva maksimuma), ΔN – broj celih rotacija između tih pojavljivanja, ΔL_c – razlika u longitudi tačaka asteroida koje su na pravcu centar asteroida – Zemlja za prvu i drugu krivu sjaja, $\Delta \delta$ – razlika ugla između pravaca asteroid-Zemlja i asteroid-Sunce, kod prve i druge krive, a Δn – popravka za broj rotacija ΔN koja je jednaka broju celih revolucija u intervalu ΔT_c . Znak plus označava progradnu, a znak minus retrogradnu

rotaciju. Veličine ΔN i $\Delta \delta$ se mogu povezati sa koordinatama pola, pa se dobija jednačina sa sideričkim periodom i ekliptičkim koordinatama pola β_0 i λ_0 kao nepoznatim veličinama. Svaki par krivih sjaja daje jednu jednačinu, a sve jednačine se rešavaju prvo sa znakom plus, a zatim sa znakom minus u imeniocu. U praksi se pokazalo da je za rešavanje ovakvog sistema potrebno 6-10 krivih sjaja iz jedne opozicije, i još nekoliko krivih iz drugih opozicija. Naravno, ovako veliki posmatrački materijal obično nije dostupan, pa je ova varijanta fotometrijske astrometrije danas napuštena.

Bolji postupak dao je Tadeuš Mihalovski (Michałowski 1988). Osnovna ideja ovog postupka je uvođenje, umesto popravki ΔL_c i $\Delta \delta$, tzv. bisektrise faznog ugla, čija longituda ΔL figuriše u ovoj varijanti jednačine fotometrijske astrometrije:

$$P_{\text{sid}} = \frac{\Delta T_c}{\Delta N \pm \left(\frac{\Delta L}{2\pi} + \Delta n \right)} \quad (18)$$

Popravka je povezana sa polarnom orijentacijom obrascem:

$$\tan L = \frac{-x \sin \lambda_0 + y \cos \lambda_0}{x \sin \beta_0 \cos \lambda_0 + y \sin \beta_0 \sin \lambda_0 - z_0} \quad (19)$$

Vektor $\mathbf{r} = [x \ y \ z]$ se dobija iz relacija:

$$\mathbf{r} = \frac{\mathbf{r}_e + \mathbf{r}_s}{|\mathbf{r}_e + \mathbf{r}_s|} \quad (20)$$

$$\mathbf{r}_e = \begin{bmatrix} -\cos \lambda \cos \beta \\ -\sin \lambda \cos \beta \\ -\sin \beta \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\mathbf{r}_s = \frac{R}{\Delta} \begin{bmatrix} -\cos \lambda_0 \\ -\sin \lambda_0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

Pri tome su λ, β – koordinate asteroida na nebu, a Δ, r, R – redom rastojanja Sunce-asteroid, Zemlja-asteroid, Zemlja-Sunce.

Pri rešavanju sistema jednačina (18) isprobavaju se, kao i u prethodnom slučaju, obe varijante – sa plus i sa minus znakom. Takođe se postavlja problem određivanja kvadranta ugla L iz jednačine (19), ali se u praksi jasno vidi koji slučajevi imaju rešenja, a koji ne. Za dobijanje rešenja dovoljno je imati šest krivih sjaja iz različitih opozicija.

Glavna prednost metoda epohe je mali broj polaznih pretpostavki, kao i jednostavnost računa. Međutim, razvojem metoda amplitude-magnitude, kao i metodâ koji omogućavaju modeliranje površine, metodi

epohe su uglavnom pali u zaborav, između ostalog i zbog velikog posmatračkog materijala koji zahtevaju. Tek u kombinovanim metodima, o kojima će biti reči u petom odeljku, ovaj postupak je ponovo postao zanimljiv. Međutim, u kombinovanim metodima, metod epohe se retko oslanja na tradicionalnu fotometrijsku astrometriju.

4. Metod amplitude-magnitudo

Metodi amplitude-magnitude razvijeni su u cilju modeliranja oblika asteroida, što metodi epohe nisu mogli da pruže. Ovakvi metodi se najbolje uklapaju u klasičnu predstavu o modeliranju oblika. Za razliku od metoda epohe, metod amplitude-magnitude izvlači informacije o morfološkoj strukturi asteroida na osnovu oblika (a ne na osnovu epohe) krive sjaja. Geometrija posmatranja uzima se u obzir jedino da bi se odlike krive sjaja prouzrokovane menjanjem geometrije odvojile od onih koje su prouzrokovane oblikom asteroida.

Prve varijante ovog metoda dali su Vinčenco Zapala (Zappala 1981; prema: Magnusson 1989) i Per Magnusson (Magnusson 1986). Do kraja osamdesetih godina data su još neka poboljšanja (npr. Pospieszalska-Surdej, Surdej 1985; Magnusson 1989) koja ipak nisu unela ništa suštinski novo. Tek devedesetih godina, radovima Kwaitkovskog (Kwaitkowski 1994), kao i Magnusona i Eriksona (Magnusson, Erikson 1993), koji su doneli novi pristup i kombinovanje sa elementima metoda epohe, ostvaren je dalji prodor u ovoj oblasti.

Metod amplitude-magnitude podrazumeva nešto više aproksimacija nego prethodni. U pitanju su sledeće pretpostavke:

- površina asteroida odbija svetlost po Lomel-Zeligerovom zakonu
- ne postoje varijacije albeda na površini
- ne postoji precesija pri kretanju asteroida
- astreroid ima oblik troosnog elipsoida

Poslednja pretpostavka je najproblematičnija i praktično nikad nije ispunjena, što je i najveće ograničenje ovog metoda. Međutim, teorijska istraživanja su pokazala (npr. Chandrasekhar 1969; Kaulla 1996) da kod prečnikâ (u smislu srednje dimenzije) većih od 300 km čak ni odstupanja od sfernog oblika nisu velika, a da za objekte prečnika većeg od 10-50 km troosni elipsoid predstavlja sasvim dobru aproksimaciju. U svakom slučaju, ovaj metod daje tzv. fotometrijski model asteroida koji predstavlja najbolju aproksimaciju njegovog realnog oblika elipsoidom.

Kao što je rečeno, klasični metodi amplitude-magnitude koriste Lomel-Zeligerov (ili Hapke-Irvinov) zakon koji u većini slučajeva predstavlja prihvatljivu aproksimaciju. Kasnije će biti pomenute neke novije varijante ovog metoda koje koriste druge zakone odbijanja (Hapkeov ili Lume-Buelov). Osnovna ideja metoda proizilazi iz činjenice da je, ako se usvoje navedene aproksimacije, ukupna osvetljenost površine asteroida proporcionalna njegovom vidljivom poprečnom preseku, uz eventualne korekcije vezane za okultacioni efekat i uopšte negeometrijsko odbijanje svetlosti.

U narednim razmatranjima asteroid će je predstavljen troosnim elipsoidom abc pri čemu je $a > b \geq c$. Rotacija se vrši oko c -ose. Oznake ekliptičkih koordinata asteroida i severnog pola ostaju neizmenjene. Važno je napomenuti da se kod ovog metoda smer rotacije ne može odrediti, pa se pod severnim polom podrazumeva severni pol u smislu pravila desnog zavrtanja.

Sa ψ će ubuduće biti obeležen ugao rotacije (tj. ugao između pravca asteroid-Zemlja i početnog pravca najveće poluose). Kao što je uobičajeno, fazni ugao je označen sa α . Za naredna razmatranja neophodna su još dva ugla: nagibni ugao (eng. aspect angle) i iskošenje (eng. obliquity). Nagibni ugao (označen sa A) predstavlja ugao između ose rotacije asteroida i pravca asteroid-Zemlja, dok iskošenje (označeno sa O) predstavlja ugao između ose rotacije i prave koja prolazi kroz centar asteroida i normalna je na ravan asteroid-Zemlja-Sunce

Veza nagibnog ugla A i ekliptičkih koordinata asteroida (koje se mogu izračunati sa dovoljno velikom tačnošću) se dobija primenom kosinusne teoreme:

$$\cos A = -\sin \beta \sin \beta_0 - \cos \beta \cos \beta_0 \cos(\lambda - \lambda_0) \quad (23)$$

gde su sa λ_0 i β_0 označene longituda i latituda pola.

Elementarnom primenom linearne algebre može se pokazati da projekcija poprečnog preseka asteroida u opoziciji iznosi:

$$S_0 = \pi abc \left[\sin^2 A \left(\frac{\sin^2 \psi}{a^2} + \frac{\cos^2 \psi}{b^2} \right) + \frac{\sin^2 A}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

Ako se početna orientacija izabere tako da za $\psi = 0$ najmanja poluosa posmatranog asteroida bude okrenuta u pravcu x -ose, tada će najveća i najmanja vrednost projekcije iznositi:

$$S_{0\max} = \pi abc \left[\frac{\sin^2 A}{b^2} + \frac{\cos^2 A}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (25)$$

$$S_{0\min} = \pi abc \left[\frac{\sin^2 A}{a^2} + \frac{\cos^2 A}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (26)$$

Iz navedenih jednačina sledi izraz za amplitudu M u opoziciji (npr. Magnusson 1986):

$$M = 1.25 \log \frac{\left(\frac{b}{c} \right)^2 \cos^2 A + \sin^2 A}{\left(\frac{b}{c} \right)^2 \cos^2 A + \left(\frac{b}{a} \right)^2 \sin^2 A} \quad (27)$$

Kada se nagibni ugao izrazi iz (27) zameni u (23), dobija se jednačina po β_0 , λ_0 , $\frac{b}{a}$ i $\frac{b}{c}$. Za dobijanje ovih parametara potrebne su krive

sjaja iz četiri različite opozicije. Kao što se vidi, potrebno je manje podataka nego kod metoda epohе. U pojedinim slučajevima može biti dovoljno i manje od četiri krive, s obzirom na veoma izraženu zavisnost kvaliteta rešenja od parametra $\frac{b}{a}$ (v. dalje). Ipak, moguće su i suprotne

situacije, npr. u slučaju da sve korišćene opozicije imaju slične geometrije posmatranja. U ovim slučajevima potrebno je još krivih sjaja. U njihovom nedostatku, umesto direktnog rešavanja, parametri $\frac{b}{a}$ i mogu se

odrediti statistički, isprobavanjem dovoljno velikog broja fiksiranih položaja ose rotacije po celoj sferi. Za rešenje se uzima onaj skup parametara za koji dobijene vrednosti amplituda najmanje odstupaju od posmatranih. Takođe je moguće i fiksiranje, a potom variranje jednog od odnosa osa. Konačno, asteroid se može aproksimirati obrtnim elipsoidom i tako eliminisati parametar $\frac{b}{c}$, koji je, kako se u praksi pokazalo, najproblematičniji i često se ne može odrediti čak ni u slučaju kvalitetnih posmatračkih podataka.

Drugi pristup, uveden 1985. godine (Pospieszalska-Surdej, Surdej 1985), umesto direktne zavisnosti nagibnog ugla od amplitude, koristi vezu između osvetljenosti i ugla rotacije. Naime, ako se uvede relativna osvetljenost E_r , neke tačke na krivoj u odnosu na minimalnu osvetljenost $S_{\text{o min}}$:

$$E_r = S_{\text{o min}} \cdot \text{const.} \quad (28)$$

jednačina (15) postaje:

$$E_r^2 = k \cos^2 \psi + 1 \quad (29)$$

pri čemu je:

$$k = \frac{\left(1 - \cos^2 A\right) \left[\left(\frac{a}{b}\right)^2 - 1\right]}{\left(1 + \cos^2 A\right) \left[\left(\frac{a}{b}\right)^2 - 1\right]} \quad (30)$$

Zamenom nagibnog ugla iz (23) ponovo se dobija jednačina sa λ_{\circ} , β_{\circ} i odnosima osa kao nepoznatim parametrima. Vrednost veličine k se dobija kao nagib linearne zavisnosti relativne osvetljenosti $E_r(\cos^2 \psi)$, pri čemu je ψ u intervalu $[0, 2\pi]$, a relativna osvetljenost se dobija iz magnitudo. Dakle, ovaj postupak koristi sve tačke krive, a ne samo ekstreme. Sama procedura računanja parametara oblika ne koristi jednačinu (30), koja je nepogodna za numeričke proračune. Ako se kosinus nagibnog ugla iz (30) ubaci u izraz (23), dobija se jednačina:

$$\sin \beta \sin \beta_0 + \cos \beta \cos \beta_0 + \text{sgn}(\cos A) \left[\frac{\left(\frac{a}{b} \right)^2 - k - 1}{k \left(\frac{a}{c} \right)^2 + \left(\frac{a}{b} \right)^2 - k - 1} \right]^{\frac{1}{2}} = 0 \quad (31)$$

I u ovom slučaju važe opšte napomene o broju potrebnih krivih sija. Naravno, različitim kombinacijama znaka poslednjeg člana za različite krive, dobija se veliki broj različitih sistema, ali se u praksi pokazalo da uglavnom jedna ili, ređe, nekoliko kombinacija daje sistem koji ima rešenja.

Bitan nedostatak opisanih metoda jeste njihova neprilagođenost neopozicionim posmatranjima, pošto navedene relacije između amplitude i geometrije posmatranja važe samo kada je odbijanje svetlosti geometrijsko i kada je cela vidljiva projekcija osvetljena. Ovaj problem je dugo ostao nerešen, i tek pojavom novih tehnika (v. sledeći odeljak) rešen je na zadovoljavajući način. U Zapalinom i Magnusonovom pristupu on se rešava uvođenjem linearne zavisnosti između amplitude u proizvoljnoj geometriji posmatranja i amplitude u opoziciji. Ovu zavisnost proučavali su Zapala i saradnici (Zappala *et al.* 1990). Raspoloživi prostor i namena članka ne omogućavaju duže zadržavanje na ovoj temi; dovoljno je reći da određivanje koeficijenta pravca pomenute zavisnosti takođe zahteva veliki broj posmatranja. Postoje i slučajevi u kojima se ova zavisnost, teorijski slabo zasnovana, ne može primeniti.

Drugi pristup omogućava nalaženje semianalitičkog rešenja ovog problema. U ovom slučaju se leva strana izraza za površinu (24) zamenuje sa:

$$S = S_0 - \frac{a^2}{4} f(A, O, \psi, a, b, c) \quad (32)$$

Funkcija $f(A, O, \psi, a, b, c)$ ima oblik koji je nepovoljan za numeričke proračune, pa se ova varijanta obično ne koristi u praksi. Inače, izraz (32) uključuje samo okultacioni efekat, tj. činjenicu da je deo projekcije neosvetljen (zapravo, u osnovi ovog postupka leži geometrijsko odbijanje svetlosti i negeometrijsko odbijanje se ni u najopštijem slučaju ne može uzeti u obzir).

Metod amplitude-magnitude je dugo bio najrasprostranjeniji metod za modeliranje asteroida. On pruža mogućnost preciznog određivanja orientacije ose i, u zavisnosti od kvaliteta posmatračkih podataka, daje manje ili više dobru aproksimaciju oblika.

Dva izložena koncepta nametnuli su se kao najbolje tradicionalne varijante. Drugi je pouzdaniji, pošto ne uključuje same vrednosti amplituda, čime se izbegava nesigurno kombinovanje amplituda različitih po-

smatranja. Osim toga, on direktno pruža uvid u adekvatnost elipsoidne aproksimacije (jer u slučaju izrazito neelipsoidnog oblika ne postoji linearna zavisnost osvetljenosti od ugla rotacije). Sa druge strane, ovaj postupak uvećava grešku koja u blizini maksimuma postaje najveća i ne može se iskoristiti za neopoziciona posmatranja.

Napomenimo, na kraju, da postoje i metodi koji direktno uključuju i magnitudu i koji pružaju čak i određivanje apsolutnih dimenzija asteroida (npr. Surdej *et al.* 1986), ali su oni prilično nepouzdani, zbog čega se praktično i ne koriste, pa ovde nisu opisani.

5. Kombinacije metoda epohe i metoda amplitude-magnitude

Razvojem posmatračkih tehnika početkom devedesetih, javlja se težnja i za razvojem naprednijih metoda modeliranja. Ona se ispoljava u dva pravca: u stvaranju metoda koji su, uvođenjem potpuno novih ideja, omogućili modeliranje površine (v. šesti i sedmi odeljak), i u kombinovanju i značajnom poboljšavanju postojećih metoda, epohe i amplitude-magnitude. Najbolje rezultate u drugom pravcu postigli su Mihalovski i Veličko (Michałowski, Velichko 1990), De Angelis (De Angelis 1992), Erikson i Magnuson (Eriskon, Magnusson 1993) i Kvaitkovski (Kwaitkowski 1995).

Radovi Mihalovskog i Velička, kao i De Angelisovi, oslanjaju se na postojeće metode epohe i amplitude-magnitude, ali ih oni spajaju u jedan postupak. Prvi, matematički jednostavniji pristup, koji koriste Mihalovski i Veličko, spaja jednačine (18) i (27) za svaku krivu sjaja, a dobijene jednačine se rešavaju kao sistem međusobno nezavisnih jednačina, npr. Njutn-Rafsonovim (Newton-Raphson) metodom. Ovakav postupak omogućava da se istovremeno odrede vektor rotacije (tj. siderički period, pravac i smer rotacije) i oblik, ali, kako se u praksi pokazalo, ne otklanja neke nepouzdanosti oba metoda, a mogućnost da se dobiju rešenja koja nemaju smisla i dalje je velika. Sličan ovom metodu je i postupak koji su predložili Magnuson i Eriskon. On se od prethodnog razlikuje po tome što ne spaja jednačine metoda epohe i jednačine metoda amplitude-magnitude, već se one rešavaju odvojeno.

De Angelisov metod takođe koristi jednačine (18) i (27), ali ih kombinuje na drugi način. Svaka od jednačina (18) i (27) se svodi na tzv. standardnu normalnu formu koja omogućava konstruisanje vektora koji sadrži χ^2 odstupanje svake jednačine. Parametri modela se dobijaju minimizacijom kvadratne norme ovog vektora. Ovaj postupak, iako se razlikuje od prethodna dva samo po pitanju matematičkog formalizma, ipak daje bolje rezultate, jer se nepoznati parametri dobijaju kao rezultat minimizacije samo jedne funkcije, čime se, kako se u praksi pokazalo, nefizička rešenja u velikoj meri otklanjaju. Ovakav postupak zadržava sve dobre strane metoda epohe i amplitude-magnitude, ali i otklanja njihove nedostatke, pa se njegovo korišćenje može preporučiti kad god je moguće (tj. kada ima dovoljno posmatračkih podataka, pošto se u praksi

pokazalo da kvalitativno ili kvantitativno loši podaci ne mogu biti iskorишćeni kod ovakvih postupaka).

Drugi metodi, npr. metod Kvaikovskog, uvođe drugačiji pristup, koji se zasniva na koncepciji da amplituda krive sjaja zavisi direktno od oblika. Kod ovog metoda se vrši proračun integralnog sjaja korišćenjem Lomel-Zeligerovog zakona (tj. sjaj se računa kao integral jednačine (2), pri čemu konstanta ima proizvoljnu vrednost, a element površine i granice integracije se određuju korišćenjem rezultata navedenih dodatku 1), mada je, u principu, moguće iskoristiti bilo koji zakon odbijanja. Originalni pristup Kvaikovskog računa samo maksimume i minimume (radi skraćenja vremena integracije), mada ovakav pristup omogućava i računanje cele krive. Deo koji koristi fotometrijsku astrometriju zasniva se na starijoj, Tejlorovoj verziji (jednačina (17)), ali se može zameniti i nekom novijom. Ovaj metod razvijen je pre svega u cilju modeliranja asteroida bliskih Zemlji (engl. Near Earth Asteroids), koji veoma brzo menjaju geometriju posmatranja, pa za njih nisu pogodne popravke magnitude, kao u (27). Ovaj metod pruža potencijalno velike mogućnosti, i još uvek čeka svoju potpuniju i savršeniju verziju.

Mada metodi modeliranja površine otvaraju sasvim nove perspektive istraživanja asteroida, metodi kombinovanog tipa zbog svoje relativne jednostavnosti predstavljaju danas najkorišćeniju i najšire prihvaćenu grupu metoda za modeliranje asteroida.

6. Matematička teorija površine asteroida

Modeliranje površine, najveći teorijski napredak u ovoj oblasti koji je do sada učinjen, uvođe potpuno drugačiji pristup problemu, u kome ne postoje nikakve ograničavajuće početne pretpostavke o obliku. Ovi metodi se zasnivaju na teoriji koja matematički opisuje proizvoljnu površinu (tj. prepostavlja proizvoljan oblik asteroida) i daje zavisnost karakteristika krive sjaja od oblika. Takođe se mogu uvesti varijacije albeda, kao i varijacije ostalih optičkih karakteristika površine, ali praktična primena do sada nije otisla tako daleko i uglavnom obuhvata određivanje oblika i diskusiju varijacija albeda.

Do sada je predloženo nekoliko različitih matematičkih teorija površine asteroida, od kojih neke tretiraju površinu kao neprekidnu glatku površ, a neke je aproksimiraju skupom diskretnih segmenata, najčešće ravnih površina. Prvi pristup je, naravno, realniji i, u principu, tačnije opisuje realnu površinu, dok su glavne prednosti druge varijante matematička jednostavnost i direktnija vizuelna interpretacija korišćenih matematičkih koncepta.

Kao što je ranije rečeno, prvi, za svoje vreme izuzetno napredan rad na ovu temu bio je Raselov, ali je ostao neprimećen. Prvi pokušaji praktične primene ovog metoda datiraju tek iz 1992. godine (Kaasalainen *et al.* 1992). Kasnije su izvršene izvesne korekcije ovog metoda (Kaasalainen 2000; Kaasalainen, Muinonen 2001), ali bez suštinskih poboljšanja.

Metodi bazirani na poliedarskoj aproksimaciji su razvijeni nešto ranije (Fulchignoni, Barucci 1988), ali ni oni nisu bitnije usavršavani. Svaki od ovih metoda zasniva se na odgovarajućem matematičkom modelu površine.

Metod poliedra razmatra asteroid kao površ sastavljenu od ravnih, međusobno podudarnih segmenata jedinične površine; u praksi se pokažalo da je najpogodnije da to budu trouglovi ili, eventualno, romboidi. Svaki segment je definisan svojim položajem. Najpogodniji način da se definiše njihov položaj je uvođenje sfernog koordinatnog sistema (r, φ, θ) , čije koordinate odgovaraju rastojanju od centra i uglovima koje segment zaklapa sa horizontalnom i vertikalnom ravni. Originalni pristup Baručija i Fulčinjonija zasniva se na klasičnom kartezijanskom koordinatnom sistemu; ovakav pristup je koristan pre svega kod relativno jednostavnih oblika, koji se u tom slučaju analitički zadaju jednačinama. Zbog prirode ovog načina opisivanja površine, ne može se razviti nikakav opšti formalizam. U svakom pojedinačnom slučaju, u zavisnosti od odabranog oblika (v. sledeći odeljak), treba pogodno izabrati koordinatni sistem i na osnovu njega razviti izraze koji opisuju površinu i sjaj. U najopštijem slučaju, površina asteroida je definisana nizom koordinata segmenata:

$$[(a_1, a_2, a_3)_1, \dots, (a_1, a_2, a_3)_N] \quad (33)$$

Površina definisana na ovaj način može biti bilo kakva zatvorena površ, konveksna ili nekonveksna.

U slučaju analitički zadatog oblika, ovaj način definisanja je ekvivalentan sistemu jednačina koje opisuju sve komponente površine. Integralni sjaj u datoj geometriji posmatranja iznosi:

$$L(\alpha, O, A) = \sum_i S_i(\iota_i, \varepsilon_i, \alpha, \mathbf{P}_i) \Delta\sigma \quad (34)$$

pri čemu je \mathbf{P}_i skup fizičkih parametara koji figurišu u zakonu odbijanja (u opštem slučaju to su funkcije položaja), $S_i(\iota_i, \varepsilon_i, \alpha, \mathbf{P}_i)$ – zakon odbijanja, a $\Delta\sigma$ – površina jediničnog segmenta (koja ima karakter konstante i ne utiče na oblik krive sjaja, pa se u praksi može izostaviti; ovde je navedena samo radi kompletnosti izraza). Sumiranje se vrši po svim segmentima koji su osvetljeni i vidljivi sa Zemlje. Ostale označke ostaju iste kao u ranijim odeljcima. U slučaju konstantnih fizičkih parametara i, konkretno, Lomel-Zeligerovog zakona, dobija se:

$$L(\alpha, O, A) = \sum_i \frac{\cos \iota_i \cos \varepsilon_i}{\cos \iota_i + \cos \varepsilon_i} c \Delta\sigma \quad (35)$$

Ako je oblik konveksan, određivanje vidljivih segmenata je trivijalno, s obzirom da su vidljivi oni segmenti za koje su upadni i odbojni ugao veći od nule; u zavisnosti od koordinatnog sistema dobija se eksplicitan uslov.

Neprekidna površina se opisuje korišćenjem formalizma diferencijalne geometrije. I u ovom slučaju površina se može definisati jednačinom površi u nekom koordinatnom sistemu:

$$f(a_1, a_2, a_3) = 0 \quad (36)$$

a sumiranje u jednačini (34) prelazi u integraciju:

$$L(\alpha, O, A) = \int_S S(\iota_i, \varepsilon_i, \alpha, \mathbf{P}_i) d\sigma(f(a_1, a_2, a_3)) \quad (37)$$

Kod asterocentričnog koordinatnog sistema (r, ϑ, φ) , koji se u ovom slučaju ubedljivo najčešće koristi, izraz (37) postaje:

$$L(\alpha, O, A) = \iint_S S(\iota_i, \varepsilon_i, \alpha, \mathbf{P}_i) r^2(\varphi, \vartheta) \cos \gamma \sin \varphi d\varphi d\vartheta \quad (38)$$

gde je γ ugao koji zaklapa radius-vektor sa normalom na površinu. Treba napomenuti da se ovde (i u svim narednim razmatranjima) pod φ podrazumeva tzv. asterocentrična ko-latituda, koja predstavlja ugao između pravca tačke na površini i pravca severnog pola asteroida; druga koordinata je klasična asterocentrična longituda.

Veoma važan koordinatni sistem u matematičkoj teoriji neprekidne površine je tzv. Gausovo mapiranje ili Gausova slika (engl. Gaussian image). Naime, ako se površina projektuje na jediničnu sferu svaka tačka površine je određena svojim sfernim koordinatama, ko-latitudom ψ i longitudom ϑ . Ovakvo mapiranje je moguće ako i samo ako je površina strogo konveksna (tj. konveksna bez ravnih preseka) – inače pomenute koordinate ne određuju jedinstvenu tačku na površini asteroida.

Za opisivanje površine sada se može koristiti Gausova zakrivljenost K ili Gausova površinska gustina G (veza između ovih veličina je data u dodatku 2). Jednačina (38) izražena preko površinske gustine ima oblik:

$$L(\alpha, O, A) = \iint_S S(\iota_i, \varepsilon_i, \alpha, \mathbf{P}_i) G(\psi, \vartheta) \sin \psi d\psi d\vartheta \quad (39)$$

U jednačinama (37-39) granice integracije odgovaraju uslovu da upadni i odbojni ugao budu pozitivni; detaljnija razmatranja data su u dodatku 2.

7. Modeliranje površine asteroida

Modeliranje površine sastoji se u određivanju parametara koji definišu površinu. Površina se pri tom obično opisuje nekim od formalizama iz prethodnog odeljka. Ovaj problem je numerički često veoma komplikovan, a rešenje najčešće nije jednoznačno. U pojedinim situacijama čak postoji beskonačno mnogo potpuno različitih modela koji podjednako dobro opisuju date krive. Broj krivih sjaja koje su potrebne za ovakvo modeliranje zнатно je veći nego kod klasičnih metoda. Mada se rezultat može dobiti korišćenjem svega nekoliko krivih, pouzdana i stabilna re-

šenja se ne mogu dobiti bez desetak krivih, koje dobro pokrivaju različite geometrije posmatranja.

Metodi koji koriste diskretnе segmente za opisivanje površine najčešće minimizuju razliku između posmatranih krivih i sintetičkih krivih dobijenih rotacijom modela sa geometrijom posmatranja identičnom realnoj (Barucci, Fulchignoni 1988; Cellino, Zappala, Farinella 1989). Uslov za minimizovanje ima jednostavan oblik sistema jednačina identičnih jednačini (34) koji se mora rešiti nekom od boljih metoda za rešavanje nelinearnih sistema, uz korišćenje neke normalizacione tehnike, pošto su se ovakvi sistemi u praksi pokazali kao nestabilni. Zakon odbijanja mora biti poznat, a orientacija ose rotacije i period prethodno određeni (nekim od ranije opisanih metoda). Malim varijacijama ovih parametara mogu se naći njihove preciznije vrednosti, traženjem onih vrednosti koje, u kombinaciji sa rešenjem za oblik, najbolje opisuju posmatrane krive. Orientacija ose treba da bude određena što tačnije, dok period ne mora biti poznat sa velikom preciznošću, pošto se kod ovog metoda svaka kriva sjaja posmatra posebno.

Kod metoda koji koristi model neprekidne površine (Kaasalainen *et al.* 1992), proces modeliranja (u literaturi se obično naziva fotomorfografija ili inverzivno modeliranje) je znatno komplikovaniji i zahteva mnogo više matematičkih i numeričkih postupaka. Ovde se ne postavljaju nikakva *a priori* ograničenja osim konveksnosti oblika. Rešenje koje treba izračunati nije vektor koordinata, već vektor parametara funkcije koja opisuje površinu. I pored značaja koji ovaj metod ima u modernoj planetarnoj astronomiji, ovde će biti date samo njegove osnovne crte; nešto šira objašnjenja se mogu naći u dodacima 2 i 3, a za detaljan prikaz preporučujem čitaocu pre svega radeve Kasalainena i saradnika (Kaasalainen *et al.* 1992; Kaasalainen 2000; Kaasalainen, Muinonen 2001).

Osnovni zadatak inverzivnog metoda je rešavanje jednačine (39) po Gausovoj površinskoj gustini kao nepoznatoj funkciji. Zakon odbijanja i ovde mora biti poznat u eksplicitnom obliku. Krive sjaja moraju biti date u apsolutnim jedinicama, a ne u relativnoj osvetljenosti ili relativnoj magnitudi, jer se uzimaju u obzir promene sjaja u različitim aparicijama. Takođe, moraju biti poznate vrednosti apsolutnih faza rotacije, tj. ugao rotacije asteroida u odnosu na izabranu epohu. Integralna jednačina ovog oblika poznata je kao Fredholmova jednačina prve vrste. Njeno rešavanje spada u tzv. inverzivne probleme. Suština inverzivnih problema je traženje rešenja integralne jednačine koje zadovoljava sledeće uslove:

- minimalno odstupa od tačnog rešenja; ovo je klasični uslov koji, u principu, izražava ono što se obično podrazumeva pod terminom "rešavanje jednačine"
- ima najmanje odstupanje od određenog *a priori* uslova, koji obezbeđuje stabilnost rešenja

Prvi uslov se u konkretnom slučaju svodi na traženje oblika koji najbolje opisuje krive sjaja. Drugi uslov se prvenstveno svodi na zahtev

da oblik bude konveksan, ali uključuje i druge zahteve koji su u većoj meri matematičke ili statističke prirode, a odnose se na stabilnost rešenja (zahteva se da rešenje ostaje relativno nepromenjeno pod uticajem malih varijacija početnih uslova).

Najpogodniji način za izražavanje nepoznate Gausove površinske gustine je korišćenje Laplasovih redova (redova sfernih harmonika, v. dodatak 2). Na taj način broj nepoznatih se smanjuje na oko 10-20 (dok bi u slučaju proračuna za svaku tačku svake krive bile potrebne stotine, pa i hiljade nepoznatih).

Prvo će biti razmotrene krive iz opozicije. U tom slučaju zavisnost od faznog ugla i iskošenja (koji su jednaki nuli) se gubi sa obe strane jednačine, a upadni i odbojni ugao su jednaki. Tada važi:

$$L(A) = \iint_S S(\iota, \mathbf{P}) G(\psi, \vartheta) \sin \psi \, d\psi \, d\vartheta \quad (40)$$

Jasno je (a može se i strogo dokazati) da se varijacija optičkih parametara površine (npr. albeda) ne može odvojiti od nepravilnosti oblika, tj. od Gausove površinske gustine. U principu, može se odabrat modeliranje ili varijacija albeda, ili oblika (tj. površine), ali se u praksi kod većine asteroida radi modeliranje oblika pošto su promene sjaja pre svega time uzrokovane (mada postoje izuzeci kao što su npr. asteroidi tipa Veste). Zato je zavisnost od koordinata navedena samo kod površinske gustine G . U pojedinim slučajevima, na osnovu dobijenog rešenja, može se proceniti poreklo varijacija sjaja. Razvojem u red površinske gustine (pri konstantnom albedu) dobija se:

$$S(\iota, \mathbf{P}) G(\psi, \vartheta) = \sum_{l=1}^N \sum_{m=-l}^l b_l m Y_l^m(\psi, \vartheta) \quad (41)$$

Kao što se iz formule vidi, sumiranje se vrši do određenog člana reda određenog izborom N , koji zavisi od konkretne situacije (u primeru navedenom u odeljku 8 uzeto je da N iznosi 4). Dalje, posmatrane krive sjaja se takođe mogu razviti u Laplasov red:

$$L(A, \eta) = \sum_{l=1}^N \sum_{m=-l}^l h_{lm} Y_l^m(A, \eta), \quad (42)$$

ako je za svaku krivu poznata geometrija posmatranja i aposlutna faza rotacije η . Može se pokazati da iz (40), posle rotiranja koordinatnog sistema sledi:

$$L(A, \eta) = \sum_{l=1}^N \sum_{m=-l}^l k_l b_{lm} Y_l^m(A, \eta) \quad (43)$$

Sa Y_l^m je obeležen sferni harmonik stepena l i reda m , sa b_{lm} i h_{lm} – sferni koeficijenti (koji ovde nose informaciju o obliku) u razvoju površinske gustine, odnosno u razvoju krivih sjaja; član k_l nosi informaciju o zakonu odbijanja svetlosti, i računa se iz eksplicitnog oblika tog zakona:

$$k_l = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{2} S(\vartheta, P) P_l(\cos \vartheta) d\vartheta d\phi \quad (44)$$

Izjednačavanjem (42) i (43) dobijaju se traženi koeficijenti za površinsku gustinu:

$$b_{lm} = \frac{h_{lm}}{2\pi k_l} \quad (45)$$

Dakle, svaki traženi koeficijent dobija se iz posebne jednačine. U praksi se pokazalo da informacije o nekim koeficijentima ostaju nedostupne, a da ni preciznost rešenja nije zadovoljavajuća. Ovaj postupak se zato preporučuje jedino kada nema dovoljno raspoloživih krivih sjaja, a može se primeniti kod posmatranja pri faznom ugлу manjem od oko 15° ; ako je moguće, ovaj postupak uvek treba zameniti opštijim.

U proizvoljnoj geometriji posmatranja opisani postupak se može uopštiti. Ako se izvrši razvoj površinske gustine u Laplasov red (pri konstantnom albedu) i potom izrazi sjaj kao u (43), dobija se:

$$L(A, \eta, \alpha, O) = \sum_{l=1}^N \sum_{m=-l}^l b_{lm} \sum_{n=-l}^l f_{lmn}(A, \eta, \alpha, O) I_{ln}(\alpha), \quad (46)$$

gde su $f_{lmn}(A, \eta, \alpha, O)$ – funkcije koje zavise od geometrije posmatranja (u sebe uključuju i sferne harmonike) i nisu bitne za dalja razmatranja, dok članovi I_{ln} imaju smisao zakona odbijanja:

$$I_{ln}(\alpha) = \int_{\alpha}^{\pi} \int_0^{\pi} S(\varphi, \theta, \alpha) Y_l^m(\varphi, \theta) \sin \theta d\theta d\varphi \quad (47)$$

Sa druge strane, razvoj krivih sjaja u trodimenzionalni Furijeov red daje:

$$L(A, \eta, \alpha, O) = \sum_{l=1}^N \sum_{m=-l}^l \sum_{n=-l}^l c_{lmn} f_{lmn}(A, \eta, \alpha, O) \quad (48)$$

Izjednačavanjem prethodne dve jednačine dobija se sistem:

$$b_{lm} = \frac{c_{lmn}}{I_{ln}(\alpha)}, \quad n = -l \dots l \quad (49)$$

Kao što se vidi, za svaki traženi koeficijent dobija se sistem od $2l + 1$ linearnih jednačina. U praksi neke od jednačina mogu biti nedefinisane, što zavisi od zakona odbijanja. Ovakav postupak je precizniji, ali je nestabilan i zahteva regularizaciju (v. dodatak 3).

Mogućnosti fotomorfološkog metoda se ovde ne završavaju: može se npr. razmotriti efekat eventualnih varijacija albeda i mogućnost njihovog određivanja, moguće je uopštiti navedene tehnike tako da uključuju i određivanje polarne orijentacije, itd. Naravno, tada se pojavljuju

još komplikovaniji matematički problemi čije razmatranje izlazi iz okvira ovog kratkog uvoda. Navedena razmatranja imaju za cilj samo da opišu najosnovnije postupke i da pruže mogućnost za izgradnju pogodne procedure rešavanja, primerene konkretnim podacima.

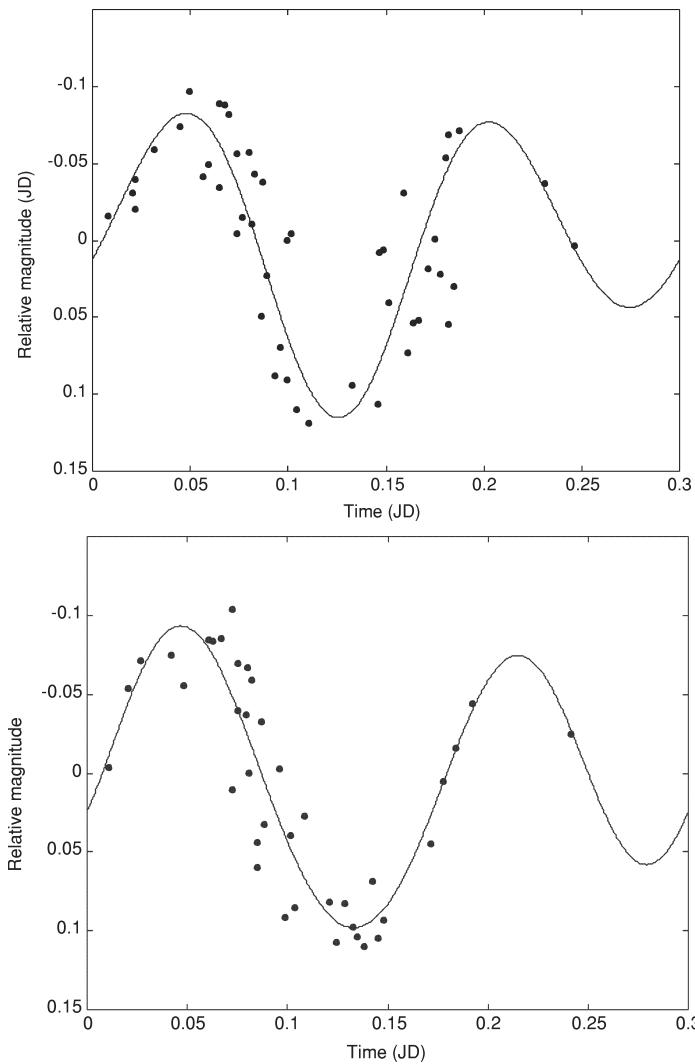
Dobijanje oblika iz površinske gustine je relativno dobro proučen i pristupačan problem, ali zbog obimnosti i zamornog formalizma neće biti detaljno izlagan; osnovne tehnike date su u dodatku 2.

Fotomorfografski metod je, svakako, najbolji trenutno dostupni metod modeliranja asteroida. On pruža mogućnost dovoljno tačnog opisivanja površine. Ukoliko je na raspolažanju dovoljan broj kvalitetnih krivih, moguće je detaljno modeliranje čak i lokalnih struktura. Važan zahtev koji se postavlja jeste poznavanje orientacije pola (mada se pokazalo da se mogu tolerisati greške do 10° , koje su uobičajene za današnje metode njihovog određivanja) i, naročito, veoma tačno poznavanje perioda (sa preciznošću reda veličine 0.001–0.1 s). Ova tačnost se danas teško može postići pri određivanju perioda iz posmatranja; njegova vrednost se preciznije određuje variranjem u toku procedure modeliranja. Sami numerički proračuni su znatno otežani time što se umesto klasičnog rešavanja jednačina koristi inverzivni postupak. Čak i uz upotrebu naprednih inverzivnih tehnika, loša posmatranja mogu znatno otežati ili onemogućiti nalaženje rešenja, što je objašnjava činjenicu da je do sada svega nekoliko asteroida modelirano ovom metodom (16 Psyche, 39 Lætitia, 951 Gaspra, 44 Nysa, 349 Dembowska, 3 Juno). Naime, potrebne su veoma precizne krive koje dobro pokrivaju različite geometrije posmatranja. Naravno, broj krivih treba da bude što veći, ali on nije presudan, jer se pokazalo da nekoliko preciznih krivih koje dobro pokrivaju različite geometrije pružaju više informacija nego veliki broj loših, neravnomerno raspoređenih krivih sjaja. Zahtev za konveksnošću oblika, kako se u praksi pokazalo, ne predstavlja veliko ograničenje, jer lokalne nekonveksnosti (npr. krateri) ne ometaju inverziju; problem predstavljaju jedino globalno nekonveksni oblici, kakve imaju najmanji asteroidi. Razvoj ovog metoda svakako će pružiti poboljšanja i u ovom smislu. Nanoviji radovi vezani za ovu tematiku (Kaasalainen, Muinonen 2001) obećavaju izvestan napredak u skoroj budućnosti.

8. Primer

U prethodnih sedam odeljaka predstavljene su glavne tehnike modeliranja oblika asteroida. U nastavku će biti ukratko predstavljeni rezultati rada na modeliranju asteroida 3 Juno. Ovaj primer bi trebalo da načelno pokaže proceduru modeliranja od prikupljanja posmatranja do konačnih rezultata.

Osnovni cilj rada je bila fotomorfografska analiza Juna. Sami proračuni oblika iz krivih sjaja su, može se reći, trivijalni, ali je neophodno uraditi mnogo pripremnih zadataka: odabratи posmatranja, obezbediti dobre početne parametre u fotomorfografskoj analizi, odreditи polarnu



Slika 1.
Primer krive sjaja
U R opsegu (gore) i I
opsegu (dole)

orientaciju i precizan period. Korišćeno je 15 krivih sjaja, od čega je jedna dobijena posmatranjem i do tada neobjavljena (jul 2000. godine, Istraživačka Stanica Petnica), a ostalih četrnaest je uzeto iz baze fotometrijskih posmatranja asteroida u Upsali. Krive pripadaju V i R opsezu koji se mogu smatrati dovoljno bliskim (pa se krive mogu koristiti zajedno bez razdvajanja prema spektralnom opsegu). Sve krive su razvijene u Furijeov red sa četiri harmonika, a zatim su određeni Furijeovi koeficijenti. Ovi koeficijenti su prilikom modeliranja korišćeni umesto pojedinačnih tačaka, što se pokazalo lakše i pouzdanije nego računanje sa diskretnim merenjima. Furijeovom analizom nađen je preliminarni period rotacije koji je korišćen za formiranje kompozitnih krivih. Kao primer krive sjaja, na slici 1 date su dve krive (kriva iz jula 2000 u R i I

opsegu; kriva u I opsegu nije korišćena pri modeliranju, a navedena je samo kao ilustracija).

Prvi korak u modeliranju sastojao se u primeni klasičnih metoda za dobijanje grube aproksimacije koja je zatim korišćena kao prva aproksimacija pri fotomorfološkom modeliranju. U ovu svrhu je iskorišćena kombinacija postupaka tipa amplituda-magnituda (AM) i metoda koji, zbog ograničenog prostora, ovde nije prikazan, a koji za određivanje polarne orientacije koristi koeficijente Laplasovog razvoja krivih sjaja. U prvom, AM delu, metod Magnusona i Zapale je malo izmenjen, tako da uključuje popravku za negeometrijsko odbijanje svetlosti. Amplituda, koju ovaj postupak koristi kao ulazni parametar, je izračunata iz Furijeovih koeficijenata. Na taj način, dobijen je preliminarni, elipsoidni model. Parametri elipsoidnog modela su sledeći:

$$P_{\text{sid}} = (0.30040 \pm 0.00001) d$$

$$\frac{a}{b} = 1.24 \pm 0.06$$

$$\frac{a}{c} = 1.43 \pm 0.10$$

$$\lambda = 104 \pm 4^\circ$$

$$\beta = 36 \pm 6^\circ$$

Drugi deo postupka koristi formalizam sličan onom koji je opisan u odeljku o fotomorfološkom metodu. Međutim, ovde se koriste samo oni sferni koeficijenti iz kojih se mogu dobiti informacije o vektoru rotacije. Kao rezultat se dobijaju preciznije koordinate pola, pri čemu se kao polazne vrednosti koriste koordinate dobijene u prvom delu postupka.

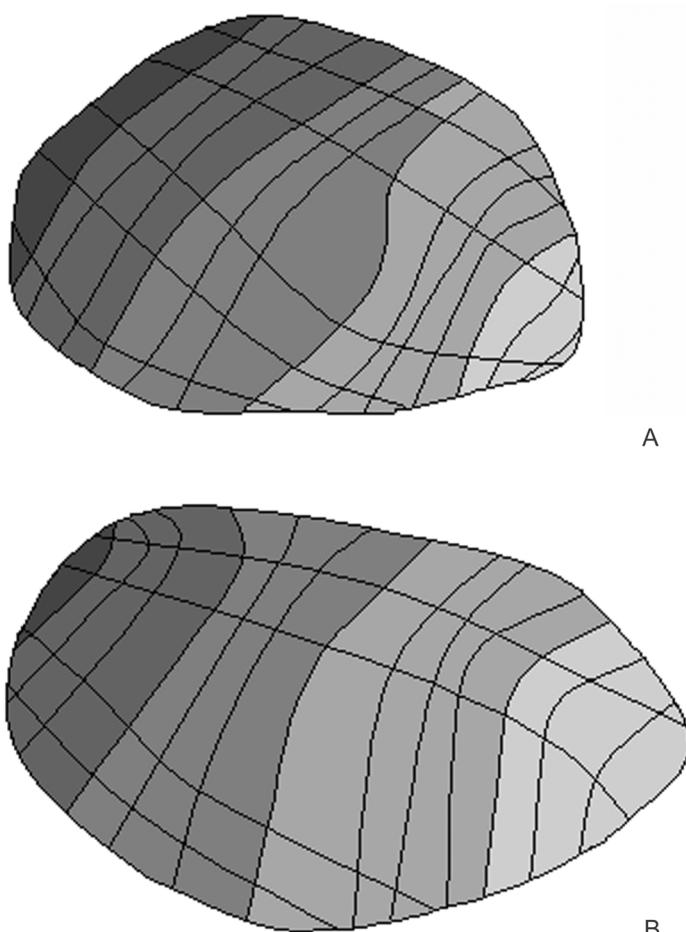
Fotomorfološko modeliranje izvršeno je opštijim od dva izložena postupka – onim koji je primenljiv na posmatranja sa proizvoljnom geometrijom. Inverzija je izvršena numeričkim metodom poznatim kao maksimizacija entropije, koji je u suštini sličan postupku opisanom u ovom članku (dodatak 3), ali omogućava nešto bolju stabilizaciju rešenja i simultano nalaženje vrednosti perioda, koordinata pola i oblika. Dobijeno rešenje je stabilno u odnosu na varijacije početnih parametara i ne sadrži negativne vrednosti površinske gustine koje bi ometale konstrukciju oblika.

Poslednji korak je bila analiza sfernih koeficijenata (kako oblika, tako i krivih sjaja) kojom su detektovane i u model unešene pojedine lokalne konkavnosti. Ovaj postupak je, u opštem slučaju, teško izvodljiv i zato ovde nije izložen. Konačni parametri modela (dobijeni fotomorfološkom analizom) su:

$$P_{\text{sid}} = (0.300396 \pm 0.000001) d$$

$$\lambda = 104 \pm 4^\circ$$

$$\beta = 36 \pm 6^\circ$$



Slika 2.
Model Juna: projekcija
na ravan *ab* (A) i na
ravan *ac* (B)

Prikazi modela iz dve perspektive date su na slici 2. Može se primetiti izražena nepravilnost oblika, neuobičajena za velike asteroide. Varijacijske albeda postoje, ali ne prelaze 20%; najveći deo varijacija sjaja može se pripisati obliku. Uočljivo je nekoliko lokalnih struktura, pre svega uzvišenja.

9. Literatura

Literatura iz ove oblasti ne odlikuje se ni brojnošću, ni kvalitetom. Relativno slabo interesovanje za ovu tematiku, nedostatak koordiniranog rada teorijskih i posmatračkih astronomata vezanog za sistematska posmatranja i njihovu interpretaciju, kao i zavisnost od razvoja numeričkih i matematičkih tehniki uslovili su spor razvoj ove oblasti i nedostatak dobre literature. Ipak, pojedini stručni radovi, pre svega oni u kojima su razvijeni tada novi metodi pružaju dobru informaciju, dovoljnu za izbor pogodnog metoda za modeliranje iz datih posmatranja i njegovo prila-

godavanje. Nekoliko knjiga i zbornika radova takođe predstavljaju dobar izvor. U nastavku je dat kratak spisak najboljih i/ili najzanimljivijih radova, članaka i knjiga iz ove oblasti.

Knjige i zbornici radova:

- Chandrasekhar S. 1950. *Radiative Transfer*. London: Oxford University Press. Jedna od najboljih knjiga vezanih za opšte probleme optičkih karakteristika čvrstih tela, sadrži fizičke osnove Hapkeove i Lume-Bauelove teorije.
- Simonenko A. 1985. *Asteroidy*. Moskva: Nauka. Kratak i jezgrovit uvod u osnovne fizičke osobine asteroida. Dobar uvod za početnike u pitanja vezana za modeliranje.
- Craig I.J.D., Brown J.C. 1986. *Inverse Problems in Astronomy*. Bristol: Adam Hilger. Dobar i jasan tretman matematičkih i numeričkih tehniki vezanih za inverziju, uz poseban osvrt na efikasnost i brzinu. Veoma korisna knjiga kod fotomorfografskog modeliranja.
- Hapke B. 1993. *Theory of Reflectance and Emittance Spectroscopy*. London: Cambridge University Press. Rezime dodatašnjih (i dosadašnjih!) rezultata vezanih za pitanja odbijanja svetlosti na površinama planeta i asteroida. Odličan izvor za odabir pogodnog zakona odbijanja.
- Gehrels R.P., Matthews T., Binzel M.S. (ed.) 1989. *Asteroids II*. Tucson: Tucson University Press. Zbornik koji se izdaje u periodima od desetak godina sa ambicijom da obuhvati sva trenutna znanja vezana za asteroide. Autori članaka su najbolji stručnjaci u svojim oblastima. Sadrži mnoštvo članaka koji sistematski obraduju sve aspekte modeliranja. Veoma je teško nabaviti ga, ali bi u toku 2002. godine trebalo da izade novi zbornik, *Asteroids III*.
- Millani A., Martino M.D., Cellino A. (ed.) 1993. *Asteroids, Comets, Meteors*. Kluwa: Kluwa Academic Publisher. Zbornik članaka vezanih za male planete Sunčevog sistema. Ne sadrži tako mnogo članaka neposredno vezanih za ovu tematiku kao *Asteroids II*, ali daje mnogo informacija o primeni rezultata modeliranja i povezanosti ove oblasti sa drugim pitanjima planetarne astronomije.

Pregledni članci:

- Magnusson P. 1992. Analysis of asteroid lightcurves IV. *Uppsala Reportas in Astromomy*, No. 18. Jedan od najboljih preglednih članaka posvećenih modeliranju klasičnim metodima. Uključuje klasifikaciju metoda. Teško je nabaviti ga.
- Barucci A.M. 1992. Ground based Gaspra modeling: comparison with the first Galileo image. *Astronomy&Astrophysics* V, **266**: 385-94. Sadrži pregled metoda za modeliranje površine, testiranih na asteroidu Gaspra. Uključuje poređenje rezultata sa snimcima sonde Galileo. Veoma dobar izvor za proučavanje slabosti ovih metoda i sistematskih grešaka koje mogu nastati.

Radovi:

- Lumme K., Bowell, E. 1981a, b. Radiative transfer in the surfaces of the atmosphereless bodies I-II, *The Astronomical Journal*, **86**: 1694-1712.
Originalni rad Lumea i Bauela u kome je izložena njihova teorija odbijanja svetlosti, sa posebnim osvrtom na integralni sjaj i fazne krive. Jedan od najpreglednijih izvora vezanih za ovu teoriju.
- Magnusson P., Lagerkvist, C.-I. 1990. Analysis of asteroid lightcurves I. *Astronomy&Astrophysics Supplement Series*, **86**: 45-51. članak koji obrađuje pitanja sistematskih grešaka krivih sjaja i njihovog efekta na kasniju obradu. Dobar prikaz grešaka koje unoše posmatrački podaci, uz poseban osrvt na Furijeovu analizu.
- Lagerkvist C.-I., Magnusson P. 1990. Analysis of asteroid lightcurves II. *Astronomy&Astrophysics*, **243**: 512-20. Prikaz H-G sistema i primena Lume-Bauelovog zakona na svodenje krivih na željenu geomatriju posmatranja.
- Michałowski T. 1988. Photometric Astrometry Applied to Asteroids: 6, 15, 43, and 624. *Acta Astronomica*, **38**: 455-68. Članak u kome je izložen najprihvaćeniji metod epohe, sa primenom na posmatračke podatke.
- Magnusson P. 1986. Pole orientations and shapes of asteroids from amplitude-aspect relations. *Icarus*, **68**: 1-39. Originalni članak Magnusona sa njegovom verzijom metoda amplitude-magnitudo i razmatranjem dobrih i loših strana metoda.
- Karttunen H. 1989. Modelling asteroid brightness variations I. Numerical methods. *Astronomy&Astrophysics*, **208**: 314-9. Rad posvećen simulaciji krivih sjaja, sadrži važne informacije vezane za napredne metode amplitude-magnitudo (i kombinacije sa metodom epohe).
- Russel H.N. 1906. On the light-variations of asteroids and satellites. *The Astrophysical Journal*, Vol. XXIV, number 1:1-18. Istoriski rad Rasela posvećen matematičkoj teoriji površine i pitanjima njenog modeliranja. Pionirski korak u ovoj oblasti koji je, uprkos svojim greškama, otvorio pitanje modeliranja asteroida. Zanimljiv kao svedočanstvo početaka ove oblasti, ne treba ga koristiti za učenje ili kao praktično uputstvo za modeliranje.
- Kaasalainen M., Lamberg L., Lumme K., Bowell E. 1992. Interpretation of lightcurves of atmosphereless bodies I-II. *Astronomy&Astrophysics*, **259**: 318-340. Rad Kasalainena i saradnika u kome je prvi put izložen fotomorfografski metod, sa detaljnim matematičkim izvodenjima i opisima numeričkih procedura. Pregledno i jasno izlaganje, ali sa malo osvrta na praktične aspekte.
- Kaasalainen M., Muinonen K. 2001. Optimization of lightcurve inversion. *Icarus*, **153**: 24-51. Usavršen metod iz prethodno navedenog rada, naročito što se tiče numeričkih procedura.

Literatura korišćena pri pisanju članka:

- Barucci A.M. 1992. Ground based Gaspra modeling: comparison with the first Galileo image. *Astronomy&Astrophysics*, **266**: 385-94.
- Birch P.V., Taylor R.C. 1989. Lightcurves and pole position of asteroid 3 Juno. *Astronomy&Astrophysics Supplement Series*, **81**: 409-14.
- Bronštejn V.A. 1982. *Planeti i ikh nablyudenie*. Moskva: Nauka.
- Chandrasekhar S. 1950. *Radiative Transfer*. London: Oxford University Press.
- Chandrasekhar S. 1969. *Ellipsoidal Figures of Equilibrium*. New Haven: Yale University Press.
- De Angelis G. 1993. A method to determine asteroid poles. *LPSC*, XXIV: 385-6.
- Fulchignoni M., Barucci M.A. 1988. Representing shapes of asteroids with polyhedral surfaces. *BAAS*, **20**: 866-78.
- Happke B. 1981. Bidirectional reflectance spectroscopy. I Theory. *Journal of Geophysical Research*, **86**: 3039-54.
- Lagerros J.S.V. 1996. New thermal model of asteroids IV. *Astronomy&Astrophysics*, **310**: 1011-20.
- Lagerros J.S.V. 1997. New thermal model of asteroids V. *Astronomy&Astrophysics*, **325**: 1226-36.
- Kaasalainen M. 2000. Periods, poles and shapes of asteroids from lightcurve inversion. *American Astronomical Society*, DPS meeting no. 32
- Kaasalainen M., Lamberg L., Lumme K., Bowell E. 1992. Interpretation of lightcurves of atmosphereless bodies I-II. *Astronomy&Astrophysics*, **259**: 318-340.
- Kaasalainen M., Muinonen K. 2001. Optimization of lightcurve inversion. *Icarus*, **153**: 24-51
- Krugly *et al.* 1994. Asteroid 83 Beatrix – photometry and model. *Astronomy&Astrophysics Supplement Series*, **104**: 143-9.
- Kwaitkowski T. 1995. Sidereal period, pole and shape of asteroid 1620 Geographos. *Astronomy&Astrophysics*, **294**: 274-7.
- Lagerkvist C.-I., Magnusson P. 1990. Analysis of asteroid lightcurves II. *Astronomy&Astrophysics*, **243**: 512-20.
- Licandro J., Gallardo T., Tancredi G. 1994. Lightcurves and pole determinations for theasteroids 31 Euphrosyne, 196 Phylomena and 471 Papagena. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, **28**: 91-6.
- Lumme K., Bowell E. 1981a. Radiative transfer in the surfaces of the atmosphereless bodies. I Theory. *The Astronomical Journal*, **86**: 1694-1704.
- Lumme K., Bowell E. 1981b. Radiative transfer in the surfaces of the atmosphereless bodies. II Interpretation of the phase curves. *The Astronomical Journal*, **86**: 1705-12.
- Lumme K., Karttunen H., Bowell E. 1989. A spherical harmonics method for asteroid pole determination. *Astronomy&Astrophysics*, **229**: 228-39.
- Magnusson P. 1986. Pole orientations and shapes of asteroids from amplitude-aspect relations. *Icarus*, **68**: 1-39.

- Magnusson P. 1991. Analysis of asteroid lightcurves III. *Astronomy&Astrophysics*, **243**: 512-20.
- Magnusson P. et al. 1989. Determination of pole orientations and shapes of asteroids. In Asteroids II (ed. R.P Binzel *et al.*). Tucson: Tucson University Press, pp. 66-84.
- Magnusson *et al.* 1996. Photometric observations and modeling of asteroid 1620 Geographos. *Icarus*, **123**: 227-44.
- Mecke K. R. 2000. Additivity, complexity and beyond: Applications of Minkowski functionals in statistical physics. *Mathematische Annalen*, **119**: 111-7.
- Michalowski T. 1988. Photometric Astrometry Applied to Asteroids: 6, 15, 43, and 624. *Acta Astronomica*, **38**: 455-68.
- Michalowski T. 1993. The Photometric Astrometry Revisited. *Icarus*, **106**: 563-72
- Minkowski H. 1903. *Matematische Annalen*, **4**: 34-48.
- Mottola *et al.* 1997. Physical model of near-Earth asteroid 6489 Golevka (1991 JX) from optical and infrared observations. *The Astronomical Journal*, **114**: 1234-45.
- Muinonen K., Lagerros J. S. V. 1998. Inversion of shapes of irregular solar system bodies. *Astronomy&Astrophysics*, **333**: 753-61.
- Pospieszalska-Surdej A., Surdej J. 1985. Determination of the pole orientation of an asteroid. The amplitude-aspect relation revisited. *Astronomy&Astrophysics*, **149**: 186-94.
- Rowe B.H. 1993. Calculating Asteroid Diameters. *Sky&Telescope*, June 1993: 83-5.
- Russel H.N. 1906. On the light-variations of asteroids and satellites. *The Astrophysical Journal*, Vol. XXIV, number I:1-18
- Simonenko A. 1985. *Asteroidy*. Moskva: Nauka
- Tancredi G., Gallardo T. 1990. A comparison of two pole determination methods for the asteroids. *Astronomy&Astrophysics*, **242**: 279-85.
- Taylor R.C. 1973. A method to determine asteroids poles. *The Astronomical Journal*, **78**: 131-8
- Velichko, Michalowski. 1990. Photoelectric Photometry, Parameters of Rotation and Shapes of Asteroids 22 Kalliope and 79 Eurydome. *Acta Astronomica*, **40**: 321-32
- Zappala V., Cellino A., Barucci A.M., Fulchignoni M., Lupishko D. F. 1990. Analysis of amplitude-phase relationship among asteroids. *Astronomy&Astrophysics*, **231**: 548-60.

Dodatak 1

Integralni sjaj elipsoidnog modela

Kod metoda kao što je metod Kvaikovskog neophodna je integracija sjaja asteroida u cilju dobijanja direktnе zavisnosti amplitude od parametara modela. Integralni sjaj iznosi (up. (38)):

$$L = \iint_S S(\alpha) r^2 (\varphi, \vartheta) \cos \gamma \sin \varphi d\varphi d\vartheta \quad (D1.1)$$

Oznake su identične kao u (38). Integracija se vrši u oblasti u kojoj su upadni i odbojni ugao veći od nule. Iz elementarne sferne trigonometrije slede veze ovih uglova sa asterocentričnim koordinatama i faznim uglom:

$$\cos \iota = \cos \beta \cos(\lambda - \alpha) \quad (D1.2)$$

$$\cos \varepsilon = \cos \beta \cos \lambda \quad (D1.3)$$

Iz navedenih jednačina lako se mogu dobiti oblasti u kojima su dati uglovi pozitivni, čime su određene granice integracije. Druga mogućnost je implementiranje kriterijuma vidljivosti u samu proceduru integracije, tj. zamena zakona odbijanja članom S' :

$$S'(\alpha, \varphi, \vartheta) = S(\alpha), \quad \text{za } \cos \iota, \cos \varepsilon > 0 \quad (D1.4)$$

$$S'(\alpha, \varphi, \vartheta) = 0, \quad \text{inače.} \quad (D1.4)$$

Jasno je da zavisnost r od preostale dve koordinate mora biti poznata. Za elipsoid važi:

$$r(\varphi, \vartheta) = \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (D1.5)$$

Naravno, zbog simetrije, u ovom slučaju je r konstantno. Uvrštanjem ovih rezultata i zakona odbijanja u (D1.1) daje traženi izraz za integralni sjaj. Integracija se može vršiti za celu krivu, ili samo za ekstreme (odnosno nekoliko tačaka u blizini ekstremi), iz čega se može dobiti amplituda.

Ovaj postupak je moguć za bilo koji oblik, ali u praksi nema smisla ići dalje od relativno jednostavnih modela (npr. Jakobijevi elipsoidi, kombinacija elipsoida i sferne površi, itd.). U tom slučaju, potrebno je iskoristiti opšti oblik izraza (D1.5), koji se može dobiti iz jednačine (36).

Dodatak 2

Različiti formalizmi kod fotomorfografskog metoda

Pre svega je potreban kratak matematički uvod vezan za Laplasove redove, rotacije koordinatnih sistema i diferencijalnu geometriju.

Laplasov red ima oblik:

$$f(\varphi, \vartheta) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^l x_{lm} Y_l^m(\vartheta, \varphi) \quad (\text{D2.1})$$

članovi su koeficijenti (Laplasovi ili sferni koeficijneti), a sa $Y_l^m(\vartheta, \varphi)$ su označeni sferni harmonici:

$$Y_l^m(\vartheta, \varphi) = (-1)^m \sqrt{\frac{2l+1}{4\pi} \cdot \frac{(l-m)!}{(l+m)!}} P_l^m(\cos \vartheta) e^{im\varphi} \quad (\text{D2.2})$$

Sa P_l^m su označene asocirane Ležandrove funkcije. Navedeni oblik sfernog harmonika najčešće se ne koristi u praksi, jer se sve konstante u većini praktičnih primena mogu izostaviti, tj. sferni harmonik se može zapisati kao:

$$Y_l^m(\vartheta, \varphi) = (-1)^m P_l^m(\cos \vartheta) e^{im\varphi} \quad (\text{D2.3})$$

Za računanje Ležandrovih polinoma u praksi se koristi formula:

$$P_l^m(\cos \vartheta) = \sum_{n=0}^{l-m} A_{lmn} \cos^n \vartheta \sin^m \vartheta \quad (\text{D2.4})$$

pri čemu je:

$$A_{lmn} = \frac{(2l-1)A_{(l-1)m(n-1)} - (l+m-1)A_{(l-2)mn}}{l-m}, \quad l > m, l > 1 \quad (\text{D2.5})$$

inače

$$A_{ll0} = (2l-1)A_{(l-1)(l-1)0}, \quad A_{000} = 1 \quad (\text{D2.6})$$

Navedeni izrazi su nezavisni od izbora koordinatnog sistema, ali traženi koeficijenti nisu. Zato u redu (D2.3) u opštem slučaju figurišu i članovi vezani za rotaciju koordinatnog sistema iz početnog položaja (u konkretnom slučaju to je (ψ, ϑ)). Posle rotacije, vrednost sfernog harmonika iznosi:

$$Y_l^{m'}(\vartheta, \varphi) = \sum_{n=-1}^l Y_l^n(\vartheta, \varphi) \mathbf{D}(l, m, n)(\gamma, \beta, \alpha) \quad (\text{D2.7})$$

gde je \mathbf{D} – matrica rotacije, čije se komponente mogu dobiti iz:

$$\mathbf{D}(l, n, m) = d_{lm}(\beta) e^{im\alpha} e^{in\gamma} \quad (\text{D2.8})$$

$$d_{lm}(\beta) = \sum_{p=0}^{l+m} \frac{(-1)^{p+n-m} (l+m)!(l-m')!}{p!(l+m-p)!(l-n-p)!(n-m+p)!} \cos \frac{\beta}{2} \sin \frac{\beta}{2} \quad (\text{D2.9})$$

Korišćenjem formalizma (D2.7-9) mogu se dobiti izrazi (46-48).

Gausova površinska gustina definisana je izrazom:

$$G(\psi, \vartheta) = \left| \frac{\partial \mathbf{r}(\vartheta, \phi)}{\partial \vartheta} \times \frac{\partial \mathbf{r}(\vartheta, \phi)}{\partial \phi} \frac{1}{\sin \vartheta} \right| \quad (\text{D2.12})$$

Njena recipročna vrednost je zakrivljenost. Ove veličine su pogodne za procedure kao što su određivanje morfologije iz sjaja, rekonstrukcija signala propuštenog kroz filter, prepoznavanje oblika, itd. jer dobijeni signal (u ovom slučaju, krive sjaja) linearno zavisi od njih, tj. integrali (40) i (46) su linearni funkcionali površinske gustine. Za rekonstrukciju oblika iz ove veličine pogodan je tzv. poluprečnik torzije, definisan kao skalarni proizvod jedinične normale i radijus-vetkora:

$$\rho(\psi, \vartheta) = \mathbf{n}(\psi, \vartheta) \cdot \mathbf{r}(\psi, \vartheta) \quad (\text{D2.13})$$

Za razliku od površinske gustine, iz poluprečnika torzije se lako mogu dobiti radijus-vektori tačaka na površini. Detalji se mogu naći u literaturi (npr. Mecke 2000). Ovde je dat jedan od najjednostavnijih postupaka koji je u većini slučajeva primenljiv. Postupak se zasniva na konceptu "pomešane zapremine" (engl. mixed volume) dva tela. Ovo je prilično apstraktan matematički pojam. Ovde je dovoljno reći da je to funkcija koja zavisi od Gausove površinske gustine prvog tela i poluprečnika torzije drugog tela:

$$V(I, II) = \frac{1}{3} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi G_I(\vartheta, \phi) \rho_{II}(\vartheta, \phi) \sin \vartheta d\vartheta d\phi \quad (\text{D2.14})$$

Ova funkcija dostiže minimum kada površinska gustina i poluprečnik torzije opisuju isti oblik (do na faktor skaliranja). Dakle, poluprečnik torzije se može odrediti minimizacijom funkcije (D2.14). Minimizacija se najlakše može izvršiti ako se ova funkcija razvije u red:

$$V(I, II) = \sum_{l=0}^N \sum_{m=0}^l a_{lm} \rho_{lmII} \quad (\text{D2.15})$$

pri čemu je:

$$a_{lm} = \frac{1}{3} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} G_l(\vartheta, \phi) Y_l^m(\vartheta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi \quad (D2.16)$$

Broj članova u sumi (D2.16) (određen sa N) obično ne mora da bude veliki: 3-5 članova je u većini slučajeva dovoljno.

Kada se poluprečnik torzije odredi kao funkcija, može se izračunati njegova vrednost za određen broj (nekoliko hiljada je obično dovoljno) tačaka površine. Intenzitet radijus-vektora svake tačke se sada može dobiti iz obrasca:

$$r(\vartheta, \phi) = \begin{bmatrix} \cos \vartheta \cos \phi & -\sin \phi & \sin \cos \phi \\ \cos \vartheta \sin \phi & \cos \phi & \sin \sin \phi \\ -\sin \vartheta & 0 & \cos \vartheta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \frac{d\rho}{d\vartheta} \\ \frac{d\rho}{d\phi} \\ \frac{d\rho}{d\vartheta \sin \vartheta} \\ \rho \end{bmatrix} \quad (D2.17)$$

Neprekidna površina se sada sasvim lako može dobiti. Bolji programski paketi za numeričke proračune imaju i ugrađene funkcije za ovakve probleme.

Dodatak 3

Inverzija integralne jednačine Fredholmovog tipa prve vrste

Kao što je napomenuto u sedmom odeljku, rešavanje integralne jednačine (39) zasniva se na minimizovanju odstupanja od tačnog rešenja i obezbeđivanju stabilnosti rešenja. Jasno je da je broj mogućih rešenja beskonačan i da je moguće dobiti rešenje koje će proizvoljno dobro opisati posmatranja, ali će samo uzak interval rešenja imati smisla, tj. omogućiti rekonstrukciju oblika. Kod inverzije krivih sjaja javlja se još i zahtev za konveksnošću rešenja, koji mora biti zadovoljen da bi formalizam izložen u šestom i sedmom odeljku bio korektan.

Procedura koja omogućava dobijanje rešenja može se izgraditi na osnovu bajesianskog pristupa. Jednačina (39) spada u tzv. Fredholmove jednačine prve vrste. U konciznom obliku ona se može zapisati kao:

$$c = \int \int r(\psi, \vartheta) u(\psi, \vartheta) d\psi d\vartheta + \varepsilon \quad (D3.1)$$

Leva strana (koja ovde odgovara poznatoj veličini) označava posmatranja, tj. krive sjaja, dok integral sa desne strane sadrži jezgro (koje odgovara zakonu odbijanja, ili, uopšte, nekom "instrumentu" ili procesu koji "transformiše" nepoznatu veličinu u "vidljivi oblik") i nepoznatu veličinu – oblik asteroida. Sa ε je označena greška merenja (koja se mora uzeti u razmatranje pri samom procesu rešavanja). Neka je sa \mathbf{u} označeno rešenje u diskretnom obliku, tj. u obliku matrice Laplasovih

koeficijenata, sa \mathbf{r} jezgro u matričnom obliku, sa \mathbf{c} matrica koja sadrži Laplasove koeficijente krivih sjaja (čije su greške date u obliku matrice kovarijacije Σ). Bayesova teorema daje:

$$P(\mathbf{u} | \mathbf{c}) = \frac{P(\mathbf{u}) P(\mathbf{c} | \mathbf{u})}{\int P(\mathbf{u}, \mathbf{c}) d\mathbf{u}} \quad (\text{D3.2})$$

Imenilac predstavlja konstantu, čija vrednost nije bitna. Za verovatnoću $P(\mathbf{u})$ može se uzeti Gausova raspodela, sa centrom \mathbf{u}_o i matricom kovarijacije Σ_o :

$$P(\mathbf{u}) = \exp \left[-\frac{(\mathbf{u} - \mathbf{u}_o)^T \Sigma_o^{-1} (\mathbf{u} - \mathbf{u}_o)}{2} \right] \quad (\text{D3.3})$$

Za centar navedene raspodele može se uzeti sfera ili elipsoid, dok matrica kovarijacije karakteriše dozvoljena odstupanja od početnog, pravilnog oblika. Izbor ove matrice nije jednostavan zadatak: ona mora da dozvoljava modeliranje dovoljno nepravilnih oblika, ali da zadrži konveksnost i onemogući dobijanje rešenja koja nisu "glatka" ili pokazuju velike promene sa malim varijacijama početnih podataka.

Za uslovnu verovatnoću $P(\mathbf{c} | \mathbf{u})$ se takođe može usvojiti Gausova raspodela:

$$P(\mathbf{c} | \mathbf{u}) = \frac{\exp \left[-\frac{(\mathbf{u} - \mathbf{u}_o)^T \Sigma^{-1} (\mathbf{u} - \mathbf{u}_o)}{2} \right]}{(2\pi)^{\frac{N}{2}} \Sigma^{\frac{1}{2}}} \quad (\text{D3.4})$$

Zamenom jednačina (D3.3) i (D3.4) u (D3.2) dobija se izraz za uslovnu verovatnoću $P(\mathbf{u} | \mathbf{c})$. Maksimizacijom ovog izraza dobija se rešenje koje, formalno posmatrano, maksimizuje *i a posteriori* verovatnoću traženog rešenja (tj. minimizuje odstupanja od posmatranja) i *a priori* verovatnoću nađenog rešenja koja je određena matricom kovarijacije i centrom raspodele (D3.3), a koja sadrži zahteve za stabilnošću rešenja i konveksnošću oblika. Maksimizacija se može uraditi korišćenjem pogodne iterativne procedure, uz stalnu kontrolu toka proračuna, jer i u ovoj fazi može doći do nestabilnosti ili "upadanja" u singularnosti, naročito ako matrica kovarijacije Σ_o nije pogodno odabrana.

Vremenska raspodela meteorskih pojava

Vladimir Lukić

Uvod: da li postoji grupisanje meteora?

Pogledajmo rezultate nedavnog posmatranje jednog tipičnog člana Petničke meteorske grupe, tokom netipično vedre decembarske noći nešto pred maksimum Geminida, baš u vreme kada je radijant bio u zenitu. Predviđeni ZHR Geminida u to vreme bio je 7, koliki je i HR sporadika.

Posmatrač: Pera Perić

Mesto: Petnica

Datum: 9/10. 12. 1998.

interval (UT)	t _{eff}	l _{mg}	GEM	Spor.
01:00–02:00	1.00	6.5	3	4
02:00–02:15	0.25	6.5	5	5

Osim loše podeljenih intervala, pada u oči da je drugi interval bio daleko zanimljiviji; možda i previše? Da li je aktivnost Geminida i sporadika naglo porasla, ili se oni radije pojavljaju u grupama nego jedan po jedan? Koliko puta vam se desilo da za pet minuta vidite više meteora nego za prethodnih sat vremena? Koliko su (ne)verovatni navedeni rezultati?

Vremenska raspodela meteorskih pojava je jedna od većnih tema u meteorskoj astronomiji, o kojoj se mnogo priča, a malo ko ima čvrste argumente u rukama. Naravno, nema ih ni pisac ovih redova, te je svrha ovog članka da da uvod u problem i objasni zašto ne postoji konsenzus o pitanju iz naslova poglavlja, a ne da odgovori na njega. Pitanja na koja će ovaj članak odgovoriti su kakvu raspodelu očekujemo i zašto, šta zapravo vidimo, kako znamo da li je to u skladu sa očekivanjima, i šta eventualno može, a šta ne, biti uzrok neskladu.

Šta očekujemo?

Osnovna prepostavka našeg razmatranja je da je pojava meteora *slučajan, nekorelisan proces*. Ovo znači da ne možemo reći kada će se meteor pojaviti, već samo kolika je verovatnoća njegove pojave u određenom vremenskom intervalu. Nekorelisanost podrazumeva da verovatnoća pojave ne zavisi od prethodnih događaja – pojave pojedinačnih

meteora su nevezani događaji (drugi primeri: bacanje kocke, nuklearni raspad, kosmički zraci...). Ovakva pretpostavka za bilo koju (pa i meteorsku) pojavu implicira da njena vremenska raspodela mora biti *Poasonova*. Ovo poglavlje zapravo je standardni uvod u Poasonovu raspodelu, koji se može naći u bilo kojoj knjizi statistike, dat na primeru meteora (umesto uobičajenog primera ubacivanja loptica u kutije).

Prepostavimo da posmatramo meteore tokom vremenskog intervala T , i da u srednjem očekujemo da za ovo vreme vidimo N meteora ($N \propto \text{ZHR}$). Ovim smo definisali veličinu *gustina verovatnoće* $n = N/T$, koja nam daje srednju očekivanu vrednost viđenih meteora za bilo koje $T' \neq T$, $N' = n \times T'$. Jasno, tačno taj broj nećemo videti u *svakom* intervalu. Podelimo sada interval T na Q manjih intervala t_1, t_2, \dots, t_Q , i prepostavimo da su oni dovoljno mali da u svakom od njih možemo videti samo jedan meteor (ako se u nekom intervalu pojave dva meteora, uvek možemo izabrati manju podelu, sve dok nam vremenska rezolucija ne bude dovoljno dobra da pojave padnu u dva razlicita intervala). Recimo da su svi intervali jednake dužine $t = T/Q$. Kolika je verovatnoća da u celom intervalu T vidimo tačno M meteora? U tom slučaju tačno M intervala treba da bude ‘popunjeno’ meteorima, a $Q - M$ prazno. Verovatnoća da u intervalu i imamo meteor je $p_i = n \times t$, a da u intervalu j nemamo $\bar{p}_j = 1 - p_j$. Takođe, postoji

$$\binom{Q}{M} = \frac{Q \times (Q-1) \times \dots \times (Q-M+1)}{1 \times 2 \times \dots \times M}$$

različitih izbora koji interval je popunjjen, a koji ne. Sve to zajedno daje:

$$P_Q(M) = \binom{Q}{M} \left(1 - n \cdot t\right)^{Q-M} (n \cdot t)^M = \binom{Q}{M} \left(1 - \frac{N}{Q}\right)^{Q-M} \left(\frac{N}{Q}\right)^M$$

što je *binomna raspodela*. Birajući infinitezimalno kratke intervale, dakle $Q \rightarrow \infty$ (što je u saglasnosti sa našom pretpostavkom o nepostojanju dva meteora u jednom intervalu), i koristeći

$$\lim_{Q \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{N}{Q}\right)^Q = e^{-N} ; \quad \lim_{Q \rightarrow \infty} \frac{Q!}{(Q-M)!(Q-N)^M} = 1$$

dobijamo

$$P_N(M) = \frac{N^M}{M!} e^{-N}$$

što je Poasonova raspodela verovatnoće da se u intervalu u kome se u srednjem pojavi N meteora, pojavi tačno M meteora¹.

U slučaju velikog srednjeg broja meteora N , Poasonova raspodela prelazi u Gausovu²

$$P^{(G)}(M; N) = \frac{1}{(2\pi N)^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{(M-N)^2}{2N}}$$

¹ Kolika je verovatnoća da posmatraču prvom intervalu nije video ni jedan Geminid? A u drugom? Kolika je verovatnoća da u prvom vidi tačno 7 meteora (koliki je i ZHR)? A u drugom? Kolika je verovatnoća da će savršeni posmatrač videti prvi interval koji je posmatrao Pera? A drugi? A sekvenca ova dva intervala? A kada bismo ih spojili u jedan? Kakav je zaključak?

² Iako nam to nije od neposrednog interesa u ovom članku, primetimo da je Gausova raspodela simetrična, a Poasonova ne. Otuda nesimetrična formula za grešku ZHR-a pri malom broju viđenih meteora (vidi dodatak 1).

sa disperzijom $\sigma^2 = N$ i srednjom vrednošću N . Za naše potrebe, možemo smatrati da je zadovoljavajuća aproksimacija Poasonove raspodele Gausovom postignuta sa $N = 5$. Važna razlika ove dve raspodele je da vrednost Poasonove funkcije daje *verovatnoću*, a Gausove *gustinu verovatnoće* – da bi iz nje dobili verovatnoću događaja između a i b , moramo je prointegraliti između ovih vrednosti.

Šta vidimo?

Za analizu vremenske raspodele pojave daleko je pogodnije posmatrati broj pojava u nekom vremenskom intervalu nego vremenski razmak između dve pojave. Odmah se vidi da je verovatnoća da se u nekom intervalu t ne pojavi ni jedan meteor $P_0 = e^{-nt}$. P_0 je opadajuća funkcija vremena – kratki intervali između dve pojave su verovatniji od dužih!

Veličina koja je nekada od interesa za vremensku analizu pojave je vremenska korelacija dva uzastopna intervala između meteora. Ona je okarakterisana *koeficijentom linearne korelacije*, koji računamo kao:

$$\rho = \frac{\sum_n t_n t_{n+1} - qt^2}{\sum_n t_n^2 - qt},$$

gde je t_n dužina n -og intervala, q ukupan broj intervala, a t srednja dužina intervala. Iz formule se vidi da je ρ zapravo fit metodom najmanjih kvadrata za linearu zavisnost dužine intervala između uzastopnih pojava. Odstupanje ρ od nulte vrednosti govori nam o zavisnosti vremena pojave meteora od pojave prethodnog. U ovom članku nećemo koristiti taj pristup.

Recimo sada da smo pri posmatranju beležili vreme pojave meteora sa dovoljnom tačnošću da možemo da podelimo posmatranje u *jednake* intervale, i obeležimo sa f_k broj intervala u kojima je viđeno k meteora. Pretpostavimo da se f_k povezuje raspodeli $p_\mu(k)$, i uzmimo da je srednji broj meteora po intervalu

$$\mu = \bar{k} = \frac{\sum_k k f_k}{\sum_k f_k} = \frac{1}{N} \sum_k k f_k$$

gde je N ukupan broj viđenih meteora. Tada u svakoj klasi k očekujemo u srednjem $\bar{f}_k = N P_k(\bar{k})$ intervala. Pretpostavimo da je svako $f_k > 5$ (što očigledno neće biti slučaj u realnom posmatranju, ali za to imamo leka, vidi kasnije). Ispostavlja se da je u tom slučaju veličina $\bar{f}_k - f_k$, dakle odstupanje vrednosti date *prepostavljenom* raspodelom od prave, merene vrednosti opisane Gausovom raspodelom (što je dovoljno prihvatljivo na bazi ‘zdravog razuma’ da ovde neće biti eksplicitno pokazano; zainteresovani čitalac može naći detalje u bilo kojoj knjizi statistike pod *inverzna verovatnoća*). Da bismo proverili da li naša pret-

postavljena raspodela $P_{\bar{k}}(k)$ sa zadovoljavajućom tačnošću opisuje posmatranje, koristimo veličinu χ^2 (hi-kvadrat), koja meri srednje kvadratno odstupanje \bar{f}_k od f_k :

$$\chi^2 = \sum_k \left(\frac{f_k - \bar{f}_k}{\sigma^2} \right)^2$$

Verovatnoća da χ^2 ima vrednost manju od neke zadate vrednosti x je data sa (vidi dodatak 2):

$$P(\chi^2 < x) = \frac{1}{2^{\frac{n}{2}} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \int_0^x t^{\frac{n}{2}-1} e^{-\frac{t}{2}} dt$$

gde je Γ – gama funkcija, za celobrojno m : $\Gamma(m) = (m-1)!$. Ovde je značajno da je izvođenje u dodatku 2 podrazumevalo da su veličine f_k nezavisne, što ovde nije slučaj (vidi dalje). Funkcija $p(\chi^2 < x)$ se zove χ^2 -raspodela, i njene vrednosti su poznate i tabulirane. Ona nam daje verovatnoću da je kvadratno odstupanje od srednje vrednosti mereno promenljivom χ^2 manje od neke vrednosti x .

U skladu sa našom pretpostavkom o prelasku Poasonove raspodele u Gausovu $\sigma^2 = \bar{f}_k$, mi primenjujemo generalizovanu χ^2 funkciju³, datu sa:

$$X^2 = \sum_{k=1}^n \frac{(f_k - NP_{\bar{k}}(k))^2}{N P_{\bar{k}}(k)} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n \frac{f_k^2}{P_{\bar{k}}(k)} - N$$

Za veliko N može se pokazati da $X^2(N) \rightarrow \chi^2(N-2)$. Faktor $N-2$ dolazi jer raspodele $P_{\bar{k}}(k)$ nisu nezavisne za svako k , već moraju zadovoljiti uslove $\sum_k P_{\bar{k}}(k) = 1$ (sasvim opšti) i $\mu = \bar{k}$ (koji smo dodatno nametnuli zbog nepoznavanja μ). Dakle, umesto N , imamo samo $N-2$ stepena slobode.

Pogledajmo na konkretnom primeru šta nam je činiti⁴. Recimo da je posmatranje podeljeno na jednominutne intervale, i da je tokom 200 minuta posmatranja viđeno 122 meteora. Raspodela broja meteora u intervalima data je sledećom tabelom:

Broj meteora k :	0	1	2	3	4	5	6	7
Broj intervala f_k :	109	65	22	3	1	0	0	0

Pretpostavljajući Poasonovu raspodelu sa $\mu = \bar{k} = 0.61$, računamo X^2 . Pri tome, da bi zadovoljili pretpostavku o Gausovoj raspodeli $f_k - \bar{f}_k$, saberemo sve klase sa malim (ispod 5) brojem intervala. Dobijamo četiri intervala:

³Ovo je adaptiran slavni primer primene Poasonove distribucije na broj vojnika koje su ubili konji u pruskoj vojsci sa kraja prošlog veka.

k :	0	1	2	3
f_k :	109	65	22	4
\hat{f}_k :	108.67	66.29	20.22	4.82

Sada po ranije dатој формулі израчунамо $X^2 = 0.32$, погледамо у табели из додатка 3 вредност $\chi^2(4-2) = \chi^2(2)$, и видимо колика је вероватноћа овакве појаве под датим претпоставкама. У овом случају имамо 85%, tj. у 85% случајева очекујемо већу вредност χ^2 од добијене, што значи да Poasonova расподела добро описује наше посматранje. При том унапред изаберемо *nivo rizika*, tj. колика је најмана добијена вероватноћа појаве за коју ћemo сматрати да претпостављена расподела nije narušena.

Резимирајмо још једном процедуру: из резултата посматранja направимо расподелу \hat{f}_k , израчунамо средњи број метеора по интервалу и расподелу \hat{f}_k ; потом израчунамо вредност X^2 и из таблице очитамо колика је вероватноћа да добијемо ту вредност за $\chi^2(N-2)$. Ако је добијена вероватноћа сразмерна са 1 (recимо 10%), вероватно је све у redu, и претпостављена расподела је у сагласности са нашим посматранjem. Ако је добијена вероватноћа мања од нивоа ризика, recимо, 0.1%, нека од претпоставки вероватно није на mestu.

Zašto se meteori (ne) grupišu?

Када прођемо кроз анализу дату у претходном поглављу, највероватније је да ће закључак бити да нормална расподела задовољавајуће описује наше посматранje, да груписанja метеора нема, да су наši zaključci na prvi pogled били preuranjeni, i да smo били žrtve ‘repova’ Poasonove статистике. Рazočaravajuće?

Један разлог за одсуство било каквог груписанja може бити неadekvatan izbor analiziranih intervala. Вероватно ће интервали од 10–15 min. сасвим izgladiti било какво груписанje. Dakle, за озбиљну анализу морамо имати време појаве са тачношћу реда секунде, што доноси додатне komplikacije са мртвим ходом tokom očitavanja времена појаве. Recimo da ipak имамо посматранje са задовољавајућом тачношћу i да smo из претходне анализе изашли са закључком о постојању груписанja.

Као што је ређено у претходном поглављу, ово neizbežno зnači да je нека od naših претпоставки pogrešna. Ako груписанje приметимо на vremenskoj skali reda 10 минута, могуће је да вероватноћа појаве метеора nije била konstantna – kako nam је за statističku анализу neophodan veliki uzorak, veliki број desetominutnih intervala покрива relativno dug vremenski period tokom kога se menja visina radijanta, granična magnituda, možda i aktivnost. Stoga је neophodno za ovu dužину intervala користити ne sirov broj meteora, već efektivni ZHR (EZHR, ZHR добијен на основу kratких intervala).

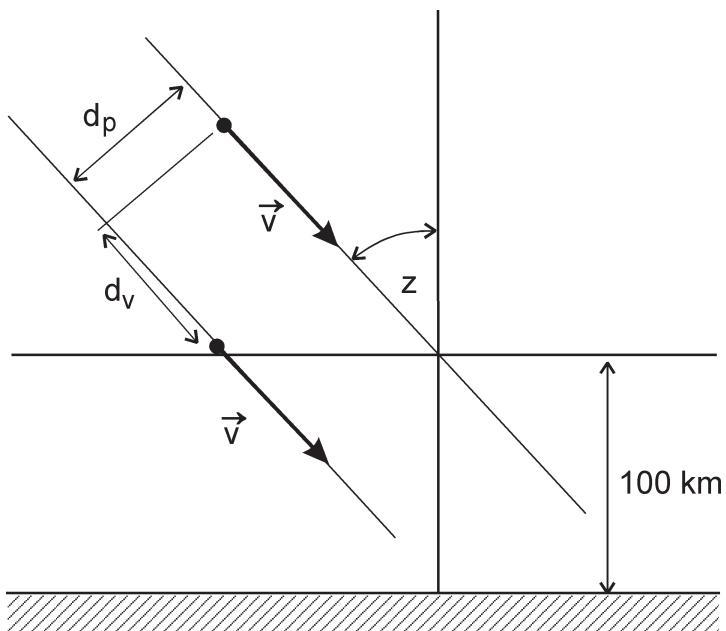
Daleko je zanimljiviji problem narušenja normalne raspodele na intervalu reda 1–10 s. Zbog ranije pomenutih problema postoji mali broj analiza na ovoj skali, i narušenje je uglavnom povezano sa pojmom *parova meteora*. Postoji nekoliko predloga fizičkih objašnjenja ovog efekta. Osnovna ideja je, naravno, da do pojave parova dolazi zbog raspada jedne čestice pre ulaska u atmosferu. Ova objašnjenja su uglavnom bazirana na modelu po kome su meteoroidi ‘sunderasta’ kamena struktura ispunjenu ledom (H_2O , CO_2 , NH_3 i ostali ‘kometski’ led). Pri prolasku kroz unutrašnje delove Sunčevog sistema led isparava i sunderasta struktura se raspada, ali pojedinačne čestice ostaju dovoljno blizu da ih prilikom ulaska u atmosferu mi vidimo kao parove⁵. Drugi predlog je da do raspada čestice dolazi u visokim slojevima atmosfere (mada je tu nejasno kako meteoroidi dobiju dovoljnu brzinu da se dovoljno udalje, vidi dalje). Ideja da do stvaranja parova dolazi zbog sudara među česticama tokom i nakon izbacivanja sa komete ne dolazi u obzir zbog male frekvencije sudara meteoroida.

Kada mislimo o parovima meteora, moramo imati na umu da fizičko rastojanje između meteoroida posmatranog para, mora biti reda 10-100 kilometara, i to predstavlja osnovnu teškoću u objašnjavanju ove pojave – kako meteoroidi dobiju dovoljno veliku relativnu brzinu da se udalje na ovo rastojanje. Kada čestice nastale raspadom meteoroida koje su na jako malom rastojanju utele u atmosferu, mi vidimo dva paralelna meteora na jako maloj udaljenosti (ako ih uopste možemo razlučiti kao dva). Iako ovu pojavu vidimo s vremena na vreme, ovo svakako nije dominantna vrsta parova. Bitna je i zenitna daljina radijanta. Zamislimo dva meteoroida koja ulaze u atmosferu sa brzinama v , na međusobnoj udaljenosti d (slika 1). Razložimo $d^2 = d_v^2 + d_p^2 + d_3^2$, gde je d_v komponenta u pravcu brzine v , d_p normalno na nju u ravni određenoj brzinama meteora (kao vektorima), i d_3 normalno na d_p i d_v , i nebitno za ovu analizu. Ako je radijant u zenitu, oni se za $d_v = 0$, $d_p = 10 \text{ km}$ i $v = 50 \text{ km/s}$ pojavljuju istovremeno; za radijant na $z = 45^\circ$ vreme između pojava je 1 s; za $z = 60^\circ$ preko 2 s, i tako dalje (zapravo $\Delta t = (d_v + d_p \cdot \tan z) / v$). Dakle, za analizu moramo izdvojiti posmatranja sa istim z radijanta, ili naći neki način da pomenuti efekat obračunamo⁶.

Iako kroz čitav ovaj članak govorimo o ‘verovatnoći pojave meteora’, moramo imati na umu da ono što mi merimo je verovatnoća *registrovanja* meteora, u koju ulaze i faktori vezani za metod posmatranja, na šta je vizuelno posmatranje naročito osetljivo. Stoga postoje objašnjenja grupisanja koja se odnose isključivo na prirodu posmatranja. Osnovna ideja je da zbog psihološkog i/ili fiziološkog efekta naša sposobnost registrovanja meteora (svetlećeg, pokretnog objekta) raste neposredno nakon pojave prethodnog (nakon što vidimo meteor, naša pažnja poraste, ili ćelije oka ostanu u pobuđenom stanju). Iako ovo zvuči kao vrlo razumna prepostavka, ona u meteorskoj zajednici kruži uglavnom kao

⁵ Za proveru ove hipoteze bilo bi zanimljivo uporediti pojavu kod Orionida i η-Akvarida – budući da su kod potonjeg roja meteoridi izlo'eni zračanju du'e i intenzivnije, za očekivati je da oni daju znatno više parova. Takođe, pojava parova u istom roju mo'e zavisiti od populacionog indeksa – dakle, od starosti tog dela roja. (Jasno, kad su ove vremenske skale različite, efekat raspada čestice će biti vidljiv samo na jednoj od njih.)

⁶Zbog uticaja Sunčevog vetra na razdvajanje meteoroida i Pointing-Robertsonovog efekta, verovatno je $d_p \gg d_v$, pa je tim ovaj efekat va'niji. Takođe, ako je ovaj mehanizam razdvajanja glavni, parovi meteora iste magnitudo (tj. sličnih površina) bi trebalo da se u srednjem pojavljuju sa kraćim vremenskim razmakom nego oni sa bitno različitim magnitudama.



Slika 1.
Dve komponente
rastojanja u paru
meteorida

rekla-kazala, i autor ovog članka nije uspeo da dođe ni do jedne referenca u vezi sa pomenutim objašnjenjem.

Način da se ovaj problem prevaziđe je korišćenje posmatračkih tehniki koje ne pate od ljudskih nedostataka. Prethodnih decenija nijedna od pristupačnih tehniki nije bila zadovoljavajuća – fotografija zbog registrovanja samo retkih (sjajnih) dogadaja, a radio i radar zbog pojave zasićenja i mrtvog vremena nakon pojave meteora, što onemogućuje analizu na najinteresantnijoj, kratkoj vremenskoj skali. Pojava osetljivih CCD kamera sa vrlo tačnim vremenskim podacima daje mogućnosti bitnog napretka u ovoj oblasti. Prva posmatranja nagoveštavaju da postoji grupisanje na vremenskoj skali do 12 s (bez popravke za zenitnu daljinu radijanta), pri čemu najbolje slaganje sa posmatranjima daje pretpostavka da je 1.5% meteora grupisano (tj. ne-nezavisno), a za razmak ispod 1 s broj meteora je za 57% veći od teorijskog predviđanja baziranog na nezavisnosti pojave.

Umesto zaključka

Pojava grupisanja meteora i, naročito, parova meteora, je tema otvorena za istraživanje, i moguće je da ćemo ćemo novim tehnikama sledećih godina naučiti dosta toga novog. Stanje u ovoj oblasti nije mnogo izmenjeno od prvih posmatranja meteora do danas, a najbolja ilustracija za to je sledeći komentar Freda Vipla (Fred L. Whipple), na Bronštěnovu (Vitalij A. Bronshtehn) izlaganje o Leonidima, na konferenciji IAU o meteorima 1966. Teško da se išta aktuelnije može reći i danas:

“Dragi dr Bronšten,

Može se očekivati je da ovaj vrlo koncentrisani roj predstavlja relativno novi kometski materijal. On bi, dakle, trebalo da sadrži veći deo rastresitih čestica. U posmatranju ovo bi trebalo da se pojavi kao višestrukost ili raspadanje meteora, koje bismo najbolje videli na velikim zenitnim daljinama radijanta. Takođe, početna visina bi trebalo da je veća nego za ‘starije’ meteore a fragmentacija kao efekt važnija. Efekat na maseni indeks je već potvrđen posmatranjima, a možda se može videti čak i pri određivanju gustine meteoroida. Prilikom posmatranja u 1967. ove faktore moramo imati na umu.”

Literatura

- Koschny, D. 1994. Meteor Clustering – Some Thoughts. In *Proceedings of IMC 1993*, (ed. A. Knöfel & P. Roggemans). IMO.
- Meyer, S. L. 1975. *Data Analysis for Scientists and Engineers*. New York: Wiley.
- Molau, S. 1996. MOVIE – Actual Observations and Latest Results. In *Proceedings of IMC 1995*, (ed. P. Roggemans & A. Knöfel). IMO
- Okolić, D. 1993. Rezultati posmatranja. *Perseidi*, 1.
- Porubčan, V. 1968. Bull. Astron. Int. Czechosl. **19**: 316.
- Porubčan, V., Gerboš, J., Rapavy, P. 1997. Alpha Monocerotids 1995 – a search for non-random pairing. *Con. Astr. Obs. Skalnaté Pleso*, **27** (1): 21.
- Von Mises, R. 1968. *Mathematical Theory of Probability and Statistics*. London: Academic Press.

Dodatak 1

Prelazak Poasonove raspodele u Gausovu

Neka je data Poasonova raspodela slučajne promenljive M sa srednjom vrednošću N :

$$P_N(M) = \frac{N^M}{M!} e^{-N}$$

označimo sa $m = M - N$. Tada je:

$$\begin{aligned} P_n(M) &= P_N(N+m) = \frac{e^{-N} N^N}{N!} \left(\frac{N}{N+1} \times \frac{N}{N+2} \times \dots \times \frac{N}{N+m} \right) = \\ &= \frac{1}{(2\pi N)^{\frac{1}{2}}} \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{N}} \times \frac{1}{1 + \frac{2}{N}} \times \dots \times \frac{1}{1 + \frac{m}{N}} \right), \end{aligned}$$

gde smo iskoristili Stirlingovu formulu $x! \approx (2\pi x)^{1/2} x^x e^{-x}$. Dalje, korišteći da je za $m/N \ll 1$, $e^{m/N} \approx 1 + m/N$

$$P_N(M) = \frac{1}{(2\pi N)^{1/2}} \exp \left[-\left(\frac{1}{N} + \frac{2}{N} + \dots + \frac{m}{N} \right) \right]$$

i, napokon, uz $\sum_{i=1}^m i = \frac{m}{2}(m+1) \approx \frac{m^2}{2}$ za $m \gg 1$, dobijamo:

$$P_N(M) \approx \frac{1}{(2\pi N)^{1/2}} e^{-\frac{(M-N)^2}{2N}} = P^{(G)}(M; N)$$

što je Gausova raspodela sa srednjom vrednošću N i disperzijom $\sigma^2 = N$.

Dodatak 2 χ^2 raspodela

Neka je f gausovska slučajna promenljiva sa srednjom vrednošću $\bar{f} = 0$ i disperzijom $\sigma = 1$ (ovo uvek možemo postići zamenom promenljive $f \rightarrow \frac{f - \bar{f}}{\sigma}$). Verovatnoća da nađemo f negde u df je

$$P(f) df = \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} e^{-\frac{f^2}{2}} df$$

Ako je $t = f^2$, onda jednostavnom zamenom u gornjoj formuli dobijamo da je t raspodeljeno sa gustinom verovatnoće

$$P(t) dt = \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} t^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{t}{2}} dt$$

i po definiciji, t meri kvadratno odstupanje f od srednje vrednosti $\bar{f} = 0$.

Verovatnoća da t ima manju vrednost od x je data sa:

$$P_1(x) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} \int_0^x t^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{t}{2}} dt = \frac{1}{\Gamma\left(\frac{1}{2}\right) 2^{\frac{1}{2}}} \int_0^x t^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{t}{2}} dt,$$

što je χ^2 raspodela sa jednim stepenom slobode. Γ je gama funkcija, definisana sa

$$\Gamma(x+1) = \int_0^\infty x^{-t} e^{-x} dx$$

i osobinama (koje će zadovoljiti naše potrebe)

$$\Gamma(x+1) = x \Gamma(x)$$

$$\Gamma(0) = 1$$

$$\Gamma\left(\frac{1}{2}\right) = \pi^{\frac{1}{2}}$$

Očigledno, za celobrojno n : $\Gamma(n) = (n-1)!$

Ako imamo n nezavisnih gausovskih promenljivih, tada je verovatnoća da ih nađemo u intervalu $df_1 \cdots df_n$:

$$P(f_1, \dots, f_n) df_1 \cdots df_n = \frac{1}{(2\pi)^{n/2}} e^{-(f_1^2 + f_2^2 + \cdots + f_n^2)/2} df_1 df_2 \cdots df_n$$

Posmatrajmo formalno ovaj izraz kao n -dimenzioni diferencijal. Ako definišemo $f^2 = f_1^2 + f_2^2 + \cdots + f_n^2$, onda je on ekvivalentan sa

$$P(f_1, \dots, f_n) df_1 \cdots df_n = \frac{1}{(2\pi)^{n/2}} e^{-\frac{f^2}{2}} f^{n-1} df d\Omega_n,$$

gde je $d\Omega_n$ diferencijal površine n -dimenzionalne sfere. Kako Gausova funkcija zavisi samo od kvadrata promenljive f , verovatnoća ne zavisi od smera u n -dimenzionom prostoru, sfera ulazi u formulu samo kao brojni faktor, te je možemo odmah integraliti, koristeći izraz za površinu n -dimenzione sfere

$$S_n = \int_{\Omega_n} d\Omega_n = \frac{\pi^{\frac{1}{2}}}{\Gamma\left(\frac{m}{2}\right) 2^{\frac{m}{2}}}$$

Tako dobijamo χ^2 raspodelu sa m stepeni slobode:

$$P_m(x) = \frac{1}{\Gamma\left(\frac{m}{2}\right) 2^{\frac{m}{2}}} \int_0^x t^{\frac{m}{2}-1} e^{-\frac{t}{2}} dt$$

i po definiciji, postoji samo za $x > 0$ \square

Potraga za meteoritom

Dragana Okolić

Ovo je prvi članak o meteoritima u Perseidima. Posvećen je prvenstveno tome šta treba raditi kada se dobije informacija o padu meteorita. Naša metorska grupa se sa ovakvom situacijom, da ne kažem problemom, već suočavala u julu 1997. i avgustu 1999 godine. Pokazalo se da nam je praktično znanje daleko manje od teorijskog. Ovo je u neku ruku i razumljivo, kada se uzme u obzir koliko se često srećemo sa padom meteorita. Da bismo sakupili željeno iskustvo trebalo bi da putujemo s kraja na kraj svijeta, u potrazi za 'nebeskim kamenčićima'. Alternativa ovakvom načinu sticanja iskustva je ovaj članak. Ako uspije da ispuni početna očekivanja autora, trebalo bi da se nakon njegovog čitanja može sprovesti procedura ispitivanja, premjeravanja, traženja i eventualnog načaženja, kao i prepoznavanja meteorita.

Stvari obično počinju telefonskim pozivom nekog slučajnog posmatrača, osim ako vam se ne desi ta sreća da lično vidite bolid kako pada u komšijsko dvorište. Nakon dobijanja prve informacije, treba ostvariti kontakt sa što više očevidaca. U ovu svrhu mogu se koristiti lokalni mediji, kao što su radio, TV, KTM. Naravno, prema njima treba biti veoma



Slika 1.
Detalj sa ekspedicije
PMG u Beloj Crkvi
(Banat) 1997. godine.

oprezan, naročito kada je u pitanju KTM, tj. komšijska trač mreža, jer virus NLO može da se pojavi na svakom koraku i zarazi cjelokupnu istragu, što vodi njenom potpunom krahu.

Šta treba mjeriti

Kada se uspostavi kontakt sa očevicima, važno je zabilježiti što više (korisnih) podataka. Tri najvažnija podatka koje treba odrediti što je moguće preciznije su: *pravac posmatranja, ugao između putanje meteora i horizonta i vrijeme trajanja posmatrane pojave*. Ostali podaci od značaja su vrijeme pojave bolida, njegova boja i sjaj, geografske koordinate mjesta posmatranja i ime posmatrača.

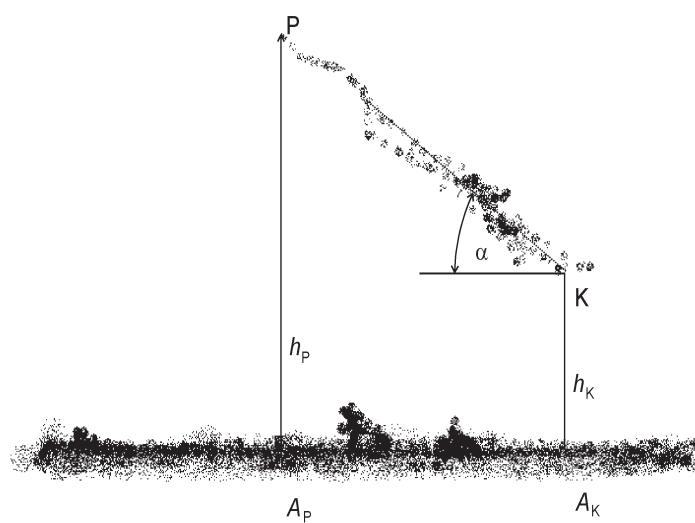
Ponekad se (veoma, veoma rijetko, tako da se ne treba previše nadati) svi ovi podaci mogu dobiti telefonskim razgovorom. To se na primjer dešava ako je bolid vidio geodeta, nastavnik matematike ili kakav drugi zaljubljenik u geometriju, mladi istraživač ili izviđač – neko ko u svakom slučaju zna da barata uglomjerom. Češće se dešava da je potrebno da mjerite na licu mjesta. U ovom slučaju ne treba gubiti strpljenje, čak i ako je broj očevidaca veliki, a njihovo poznavanje osnova geometrije prilično oskudno.

Mjerenje položaja na nebu

Za dobijanje pravca u kome je bolid viđen mogu se koristiti dvije metode (Bettonvil 1991): (1) metoda uglomjera i lenjira i (2) metoda uglomjera i lenjira u kombinaciji sa fotoaparatom. U oba slučaja koristi se i kompas.

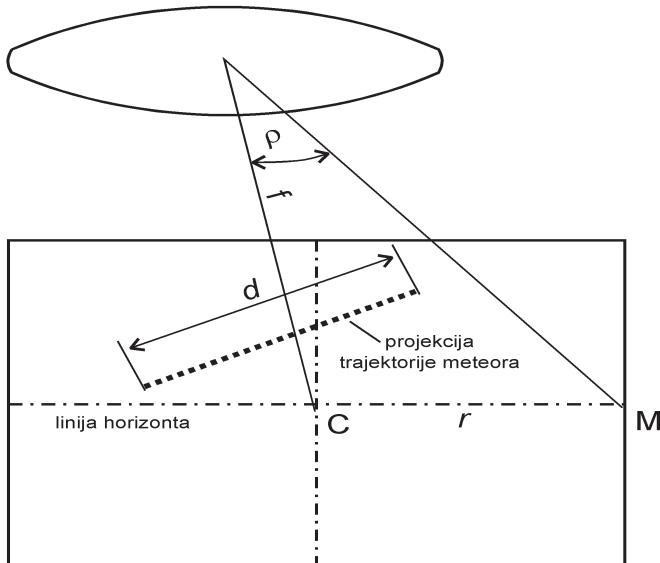
Kod prve metode pomoću uglomjera treba odrediti ugao α koji putanja meteora zaklapa sa linijom horizonta (slika 2). Usmjeravanjem viza na početak i kraj putanje određuju se početna (P) i krainia (K) tačka

Slika 2.
Osnovni elementi
prividne trajektorije
bolida su azimuti i
visine tačaka početka (P)
i kraja (K) i ugao α
koji trajektorija zaklapa
sa linijom horizonta.



putanje. Za ove dvije tačke mjeri se visina h i azimut A . Kada su P i K poznate može se izmjeriti i dužina putanje d . Jedna napomena za manje iskusne posmatrače: ne treba zaboraviti da se ovdje radi o mjerenu dužina na nebeskoj sferi, što znači da su visina i dužina traga izraženi u stepenima. Ovdje se pod mjerjenjem, bar kada se radi o visini i dužini, uglavnom podrazumijeva procjenjivanje. Prije početka mjerjenja, dobro je podsjetiti se koliko stepeni na nebeskoj sferi pokriva palac, šaka, rastojanje između palca i malog prsta ispružene ruke. Još jedna veoma logična stvar koju ne treba smetnuti s umom – prilikom mjerjenja morate se nalaziti na potpuno istom mjestu sa koga je viđen bolid.

Druga metoda se koristi ako se posmatrač u trenutku prolaska bolida nalazio u zatvorenom prostoru. Tada se na prozoru vrši rekonstrukcija putanje meteora, označavanjem početne i krajnje tačke. Za označavanje se može koristiti, na primjer, ljepljiva traka u boji. Ako je mjesto posmatranja dovoljno udaljeno od prozora, mjerjenje ugla i visine može se vršiti direktno, kao u prvoj metodi (pomoću ispružene ruke). Ako ovo nije moguće, prozor se fotografije, opet sa potpuno iste pozicije na kojoj se nalazio posmatrač. Mjerjenje se vrši kasnije sa snimljenog negativa ili fotografije. Da bi se mjerjenje uopšte moglo izvršiti, potrebno je na snimku imati horizont kao reper. Ako se horizont ne vidi sa mjesta sa koga se fotografiše, određuje se virtuelni horizont. U tom slučaju se fotoaparat, uz pomoć libele (vaservage), postavlja u horizontalan položaj, tako da je film u vertikalnoj ravni a njegiva ivica paralelna horizontu. Na ovako dobijenom snimku, horizont određuje prava koja, paralelno osnovici snimka, prolazi kroz njegovu sredinu. Naravno, u pri-



Slika 3.
Određivanje elemenata prividne trajektorije na osnovu fotografisog snimka markera.

ncipu je bolje mjeriti sa negativa, mada je u ovom slučaju mjerjenje sa fotografije ili skeniranog snimka sasvim prihvatljivo. Da bi se dužina putanje (očitana sa negativa u milimetrima) izrazila u stepenima, treba izvršiti skaliranje negativa. Za ovo se koriste jednostavne jednačine i slika 3:

$$\rho = \text{arc tan} \frac{r}{f} \quad (1)$$

$$x = \rho \frac{d}{r} \quad (2)$$

ρ – rastojanje od tačke C do tačke M u stepenima

r – rastojanje od tačke C do tačke M u milimetrima očitano sa negativa

f – žižna duljina objektiva korišćenog pri fotografisanju (u milimetrima)

x – dužina putanje u stepenima

d – dužina putanje u milimetrima očitana sa negativa

Na isti način se određuje i visina nad horizontom početne i/ili krajnje tačke sa trajektorije bolida.

Kod određivanja pravca, tačnost ‘mjernih instrumenata’ je od sekundarne važnosti, jer na nju u najvećoj mjeri utiče sjećanje posmatrača. Ako je to moguće, najbolje je koristiti metodu fotoaparata. Pokazalo se da u tom slučaju posmatrač najtačnije može da rekonstruiše putanju. Lako je sjetiti se kuda je meteor prošao ako se gleda kroz prozor sa ograničenim vidnim poljem, nego kad se orijentiše pod nebeskim svodom gdje je vidno polje daleko veće, pogotovo ako se radi o ravničarskim krajevima sa ‘dalekim’ horizontom. Dakle, u slučaju posmatranja kroz prozor i metode fotoaparata greška ‘sjećanja posmatrača’ je manja, pa samim tim ova metoda daje bolje rezultate.

Kod svih metoda tačnost ponovljenog mjerjenja leži u granicama 1-2 stepena (Bettonvil 1991). No, ovo još uvijek ne govori sve o tačnosti mjerjenja, jer se često prilikom pokazivanja putanje ukazuje na određene statične objekte, kao što su zgrade i drveće, što uglavnom doprinosi tačnosti.

Vrijeme pojave

Tačno vrijeme najlakše je odrediti ako je meteorit pao u neku kuću u trenutku kada je čovjek navijao sat, ali pošto se to ne dešava tako često, ostaje nuda da je neko od posmatrača odmah pošto je vidio bolid pogledao na sat, i da mu je sat bio tačan. Alternativa za satove su npr. televizijske i radio emisije. Vrijeme prikazivanja neke reklame, muzičkog spota, ili špice za određenu emisiju poznato je (ili bi trebalo biti) TV- i radio-urednjištвima. Alternativa za alternativu je eventualni zalazak ili izlazak Sunca ili Mjeseca. Malo vjerovatno, ali nije nemoguće.

Zabunu u cijelu stvar mogu unijeti prijave čije se vrijeme razlikuje za par sati ili dana od već utvrđenog vremena pojave bolida, ali u isto vrijeme opis pojave odgovara realnosti (bolidu koji je mogao da dopre do zemljine površine). Najčešće se u ovakvim slučajevima radi o posmatračima koji u žalu za propuštenim, a sa potrebom da i oni nešto vide, preuvečavaju opis pojave nekog običnog sporadika.

Opis pojave

U opis pojave spadaju: boja meteora, boja traga, dužina traga, eventualni bljesak ili zvuk. Koliko detaljan opis treba da bude, može se zaključiti iz rubrika u IMO formularu za bolide.

Što se tiče procjene sjaja, očevide su teškoće zbog subjektivnosti i neiskustva posmatrača. Procjenu je moguće načiniti upoređivanjem sa mjesecom, planetama ili zvjezdama, ali je ona prilično nesigurna, kada se radi o izuzetno sjajnim objektima. Pored teškoća zbog nepostojanja poredbenih objekata, kod procjene sjaja javlja se i problem sumraka. Iznako nesigurna procjena sjaja biva u slučaju da je bolid viđen u sumraku još nesigurnija. Nažalost, za ovaj problem ne mogu ponuditi kokretno rješenje ili recept. (Jedna od ideja je konsultovati Ivana Ermanoskog, u vezi sa njegovim detaljnim poznavanjem ulične rasvjete i raznih tipova lampi.)

Kako prepoznati meteorit

Meteoriti mogu da liče na obične zemaljske kamenčiće. Evo nekoliko riječi o tome kako razlikovati meteorit od zemaljskog kamena. Dobra ideja je na primjer posjetiti neku od muzejskih zbirki meteorita. Nakon pažljivog posmatranja postaće jasno šta su osnovne karakteristike meteorita i kako razlikovati meteorite od zemaljskog kamenja. Za manje pažljive posmatrače, a da bi se smanjila mogućnost dizanja buke oko svakog neobičnjeg kamenčića, u ovom odjeljku dat je kratak recept za prepoznavanje meteorita.

Za početak treba provjeriti četiri osnovne karakteristike meteorita: *težinu, čvrstinu, izgled kore, i eventualno postojanje srebrenastih flekica* na površini. Prosječno gledajući, meteorit ima jedan i po puta veću masu od zemaljskog kamena iste veličine (Heide i Wlotzak 1995). Konkretnije poređenje koje se može napraviti po težini je slijedeće: gvozdeni meteorit je najčešće tri puta teži, dok je hondrit (vrsta kamenog meteorita) jedan i po put teži od običnog kamena iste veličine. Očito je da meteoriti imaju veću gustinu nego obično kamenje, što znači da su znatno kompaktniji.

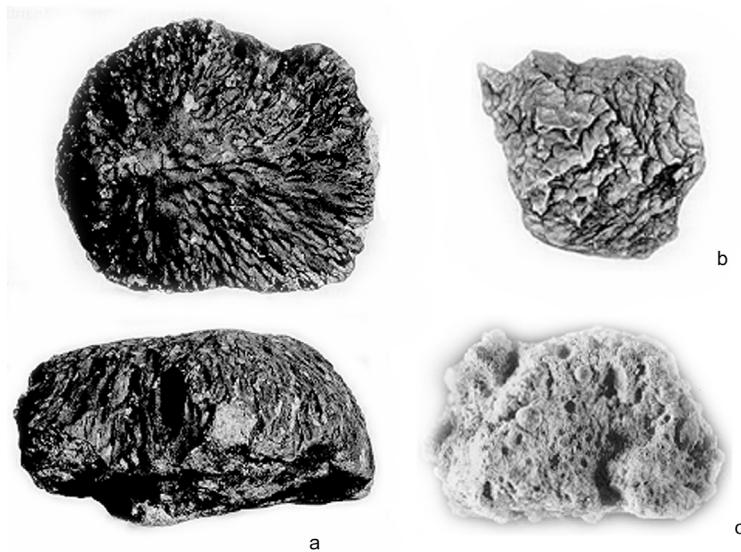
Slijedeća veoma važna karakteristika meteorita je postojanje kore. Ako kora ne postoji, dvoumica da li se radi o meteoritu ili ne je prilično velika. Pored kore značajna karakteristika meteorita je struktura površine. Ova struktura zavisi od vrste meteorita. Uopšteno gledano, postoje i strukture koje se mogu prepoznati na svim vrstama meteorita (i na gvo-

Slika 4.

a) Kameni meteorit
Krähenberg, 20x30 cm

b) Gvozdeni meteorit
Treysa, 36 cm

c) Slomljena površina
hondrita Bjurböle, 2 cm.
Vide se dvije hondrule, i
šupljine na mjestima na
kojima hondrule
nedostaju.



zdenim i na kamenim). Jedna od njih je takozvani otisak prsta (Stevens 1986, 1991). Kao ilustracija za ovu strukturu mogu poslužiti slika 4b (gvozdeni meteorit) i slika 4a (kameni meteorit). Još jedan direktni kriterijum za selekciju je boja spoljašnje strane meteorita. Kora primjera koji je ‘svježe’ pao biće crna. Primjerak koji se već neko vrijeme nalazi na zemlji biva izložen uticaju atmosferskih uslova. Njegova boja je najčešće smeđa (ibid.).

Za kamene meteorite karakteristične su hondrule (od grčke riječi *chondros* – zrno, jezgro, košpica). Hondrule su male sfere prečnika od 0.2 do 1 centimetra koje formiraju matricu fine zrnaste strukture (slika 4c). U sastav hondrita hondrule ulaze sa 40 do 90 procenata.

Ponekad je pri prolazu meteorita kroz gornje slojeve atmosfere kora istopljena, tako da je jedno vrijeme bila tečna. Ovo se lako može primjetiti na meteoritu. Zbog trenja sa vazduhom površina meteorita ima specifičnu strukturu (slike 4a i 4b).

Ponekad se na spoljnjoj strani meteorita mogu vidjeti blistave, male svijetle ‘srebrene’ flekice. Ove takozvane *gvozdene iglice* su najbolje vidljive u unutrašnjosti meteorita. U tom slučaju može se lijepo vidjeti i njihova boja. Ona varira od srebrenaste boje kamena kod gvozdenih meteorita, do crne, tamnosive, ili čak i bijele boje kod kamenih meteorita. Najčešća boja je tamnosiva (Stevens 1986, 1991).

Meteorit veoma rijetko ima perfektan oblik kugle, a takođe je rijetko da ima oštре ivice. Ako kamen ima (gasne) rupice ili je potpuno porozan, to sigurno nije meteorit. Ovakvo kamenje je često vulkanskog porijekla.

Kada se posumnja da je nađeni kamenčić meteorit, najbolje je ne pokušavati sa alternativnim metodama analize. Dakle, radije ga ostavite

u jednom komadu nego što ćete ga sijeći, lomiti ili gristi. Nemojte ga zagrijavati ili polivati kiselinama, jer sve ovo može da onemogući stvarnu analizu i tako u nepovrat baci mogućnost da se ustanove činjenice od naučne važnosti. Kada se meteorit pronađe potrebno je napraviti što više fotografija iz različitih uglova. Ne zaboravite da na neki način omogućite upoređivanje veličina na fotografiji, tako što ćete, na primjer, sličati meteorit zajedno sa kutijom šibica, ili kutijom za cipele (ako nađete neki poveći). Ako niste u mogućnosti da fotografišete, napravite bar skicu, prije nego meteorit pokupite sa mjesta na kome ste ga našli.

Obrada podataka

Kada se završi terenski rad na prikupljanju podataka, najčešće uz konstataciju da je bilo zabavno i uz nekoliko anegdota koje će se dugo prepričavati, na red dolazi pitanje “zašto mi je sve ovo trebalo”, ili obrada podataka. Iz prikupljenih podataka mogu se kao konačni rezultat dobiti (približni) elementi putanje. Prvo treba odrediti radijant bolida, atmosfersku trajektoriju i brzinu. Zatim se pomoću ovih podataka mogu izračunati elementi putanje. Razumljivo je da će tačnost dobijenih rezultata biti veoma mala, zbog male pouzdanosti podataka sakupljenih od očevidaca, ali je i dalje cijeli postupak vrijedan truda. Slika koja se na kraju dobija o cjelokupnoj pojavi je daleko konkretnija i potpunija od početnog titeraturnog znanja. Konkretan postupak računanja elemenata putanje iz prikupljenih podataka ostavljam za samostalni rad, uz djelimičnu pomoć članka *Određivanje Keplerove orbite meteorske čestice* (Pavlović i Savić 1997), objavljenog u Perseidima 3.

Poželjno je da imate ‘slike’ očevidaca sa što više različitih punktova. Još jedna interesantna tema vezana za meteorite su vrste, oblik i izgled meteorita. Ovo je jedno interesantno astronomsko-hemijsko-geološko pitanje (geološko u smislu poređenja sa zemaljskim kamenjem). Ni o ovome za sada neće biti više rečeno nego što je napisano u odjeljku *kako prepoznati meteorit*. Znatiželjnima preporučujem konsultovanje literature, na primjer Meteorites – Messenger from Space (Heide & Wlotzak 1995).

Literatura

- Bettonvil F.C.M. 1991. De Glanerburg-Nederlandse vijfde meteo-riet. *Meteorren*, juni 1991. Landelijke Werkgroep Meteoren der N.V.W.S.
- Heide F., Wlotzak, F. 1995. *Meteorites-Messenger from Space*. Springer-Verlag
- Pavlović T., Savić B. 1997. Određivanje Keplerove orbite meteorske čestice. *Perseidi*, 3.
- Stevens K. 1986. Speurtocht naar meteorieten. *Zenit*, 12
- Stevens K. 1991. Hoe herken je een meteoriete. *Meteooren*, juni 1991. Landelijke Werkgroep Meteoren der N.V.W.S.

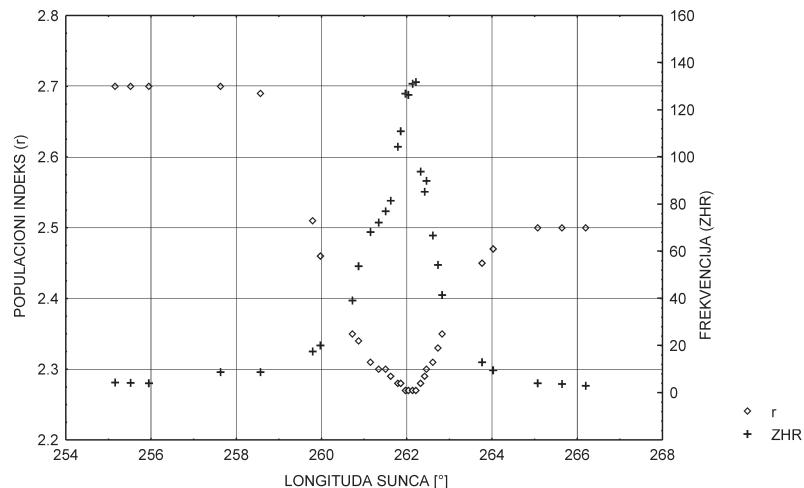
Geminidi – meteori sumnjivog porekla

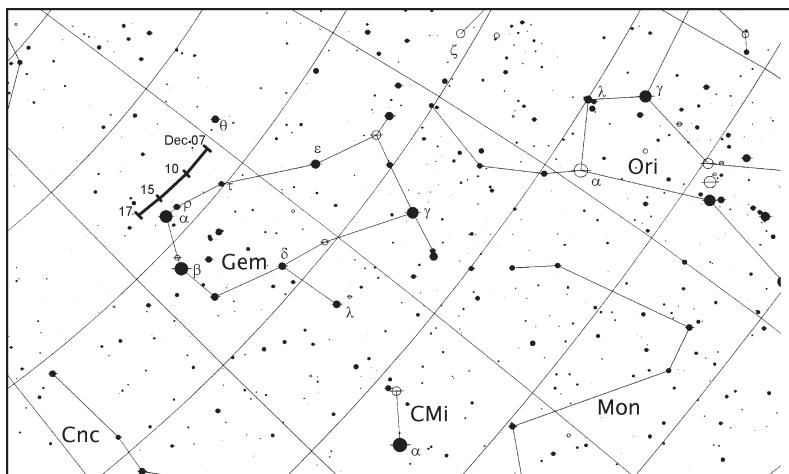
Branislav Savić

Geminidi spadaju u najpoznatije i najizučavanije meteorske rojeve, po popularnosti su u rangu sa Perseidima i Leonidima. Međutim, za razliku od većine ostalih obimnijih rojeva koji na Zemlji imaju (uglavnom) dugu istoriju (prema drevnim kineskim izvorima za Perseide se zna bar dva milenijuma, a Liridi su viđeni još u sedmom stoljeću pre nove ere), Geminidi su prvi put konstatovani tek polovinom 19. veka. Naime, prvi nagovještaj o ovom roju potiče iz tekstova belgijskog istraživača meteora Ketlea (1841, 1861) koji navodi da je u noći 12/13. decembra 1830. godine u Nemačkoj zabeležena neuobičajena aktivnost meteora, i da je tom prilikom viđeno tridesetak bolida. Međutim, nikakvih podataka o radijantu nije bilo. Tek Vilijam Frederik Dening, poznati istraživač meteora toga vremena, posmatranjima tokom 1862. i narednih nekoliko godina utvrđuje i radijant. Nije konstatovana posebno velika aktivnost, ali je postojanje roja nedvosmisleno utvrđeno.

Budući da im geocentrična brzina iznosi 35 kilometara u sekundi (oko 125 hiljada kilometara na sat), za Geminide se ne može reći da su brži meteori. Duplo su sporiji od Leonida koji se, za meteorske čestice iz

Slika 1.
Profil populacionog indeksa i aktivnosti Geminida. Niže vrednosti populacionog indeksa oko maksimuma i neposredno nakon njega ukazuju na dominaciju sjaajnih meteora, odnosno krupnijih čestica. Drugim rečima, tamo gde je roj gušći, ideo krupnijih meteoroida je veći.
Grafik je dobitjen na osnovu podataka IMO za aktivnost Geminida 1993. godine (Arlt & Rendtel 1993)





Slika 2.
Položaj radijanta
Geminida u vreme
aktivnosti roja – od 7.
do 17. decembra.
Maksimum aktivnosti
roja je pri longitudi
Sunca $\lambda = 262^\circ.0$
(13-14. decembar), kada
su koordinate radijanta:
 $\alpha = 112^\circ$, $\delta = +33^\circ$.

Sunčevog sistema, kreću skoro maksimalnom mogućom brzinom. Populacioni indeks, tj. odnos broja meteora između dve uzastopne zvezdane veličine kod ovog roja je srazmerno mali, u proseku iznosi 2.5 (oko maksimuma i manji), što znači da među Geminidima veliki ideo imaju sjajniji meteori (slika 1).

U vreme maksimuma aktivnosti pri idealnim vremenskim uslovima u noći bez mesečine, tokom jednog sata posmatranja golim okom se može videti i do 110-140 Geminida. U proseku, svakih pola minuta pojavi se meteor. Ovaj podatak se može predstaviti i na sledeći način: u najgušćim delovima roja kroz koje prolazi Zemlja, na 50 miliona kubnih kilometara prostora u proseku dolazi jedna čestica, dovoljno velika da izazove golim okom vidljivu zvezdu padalicu.

Geminidi su aktivni od 7. do 17. decembra. Radijant, tj. pravac iz kojeg ovi meteori dolaze na Zemlju nalazi se u blizini zvezde Kastor u sazvežđu Blizanaca (Gemini), odakle i ime ovom roju. Najviše Geminida se može videti oko 2 sata posle ponoći, kada se radijant nalazi na najvećoj visini (za naše geografske širine radijant je tad skoro u zenitu – oko 80 stepeni iznad horizonta). Osnovni podaci o radijantu dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Osnovni podaci o aktivnosti Geminida (Rendtel *et al.* 1995)

Koordinate radijanta	$\alpha = 112.3$	$\delta = +32.5$
Pomeranje radijanta za jedan dan	$\Delta\alpha = +0.97$	$\Delta\delta = -0.08$
Period aktivnosti	7–17. decembar	
Maksimum aktivnosti	$\lambda_\odot = 262^\circ.0$ (14. dec), ZHR = 110	
Populacioni indeks (r)	2.6	
Geocentrična brzina	35 km/s	

Potraga za roditeljskom kometom

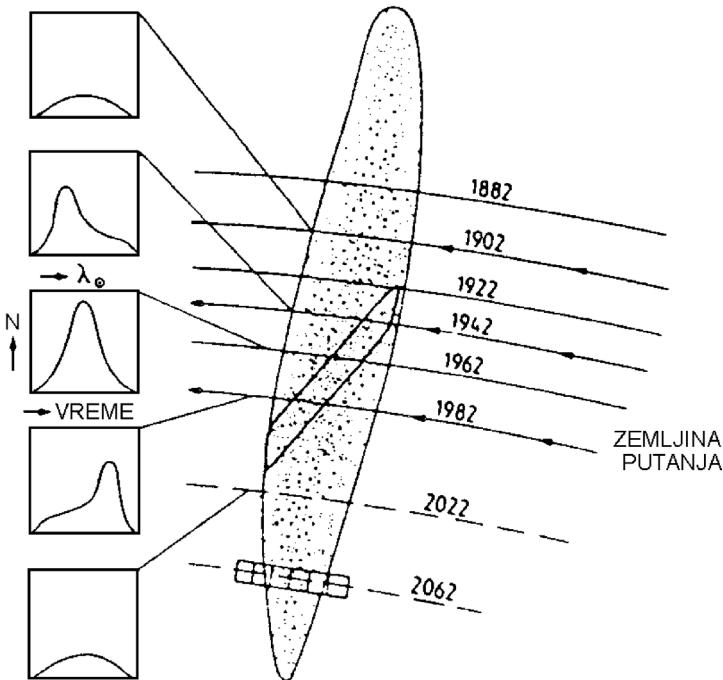
Počev od otkrića roja 1862. godine, astronomi tragaju za njegovom matičnom kometom. Naime, većinu poznatih meteorskih rojeva čine čestice (nazivaju se meteoroidi) koje se oslobađaju prilikom isparavanja ledenog jezgra neke komete. Tako, Perseidi potiču od komete Swift-Tatl, a Leonidi nastaju trošenjem jezgra komete Tempel-Tatl. Sa materijalom koji se oslobađa raspadanjem Halejeve komete Zemlja se susreće čak dva puta godišnje – početkom maja kada nam meteorske čestice dolaze iz pravca sazvežđa Vodolija (Eta-Akvaridi) i oko dvadesetog oktobra kada nam ista struja meteoroida dolazi iz pravca Oriona (Orionidi). Dakle, sasvim je razumljiva bila hajka astronoma za kometom koja će imati orbitalne elemente dovoljno bliske putanjama Geminida i koja bi time imala velike šanse da se nazove njihovom roditeljkom. Ali, takva kometa nije pronađena.

Geminide čini izuzetnim i to što čestice ovog roja imaju veoma izdužene putanje (ekscentricitet je oko 0.9), a kratak period obilaska oko Sunca (1.6 godina); u perihelu se približavaju Suncu na samo 20-tak miliona kilometara (tabela 2). Po obliku putanje Geminidi su specifični među svim malim telima uopšte – planetoidima, kometama i meteoroidima. Ovakav oblik putanja, kao i činjenica da ona sa ravni ekliptike zaklapa relativno mali ugao, navela je neke astronome da se pozabave promenama položaja orbite tokom vremena. Došlo se do zanimljivih rezultata. Čehoslovački astronom Miroslav Plavec (1950) je ustanovio da se čvor putanje roja pomera retrogradno 1.62 stepena za stopeće (Fox *et al.* 1982), tako da za 60 godina vreme maksimuma ‘porani’ ceo jedan dan. Ovim se ujedno može objasniti razlog zašto su Geminidi konstatovani pre samo stopeće, i naslutiti sliku o budućoj aktivnosti ovog roja.

U drugoj polovini XX veka, pažnju na sebe skreće još jedna osobina Geminida. Za razliku od Kvadrantida, meteorskog roja koji je isto skoro otkriven (1835), profil aktivnosti Geminida nije bio simetričan već nakriviljen ulevo (slika 3). Osim toga, ispostavilo se da stepen zakriviljenosti raspodele zavisi od magnitude meteora, tj. mase čestica; drugim rečima, umutar roja je uočljiva segregacija čestica po masi. Foks, Vilijams i Hjuz su 1983. godine (Fox *et al.* 1983) napravili model roja koji uglavnom zadovoljavajuće objašnjava uočene osobine. Prema ovim podacima proizilazi da je Zemlja počela da prolazi kroz roj Geminida pre dva stopeća i da će otprilike još toliko prolaziti kroz njega u budućnosti. A pre nekih pola milenijuma, ove čestice su sagorevale – u atmosferi Venere (slika 4).

Planetoid 3200 Phaeton i Geminidi

Pitanje porekla Geminida postaje posebno zanimljivo nakon 1983. godine. Pomenuti rad Foksa i saradnika još nije bio izašao iz štampe, ka da se saznao da je Nasin satelit IRAS (InfraRed Astronomical Satelite)

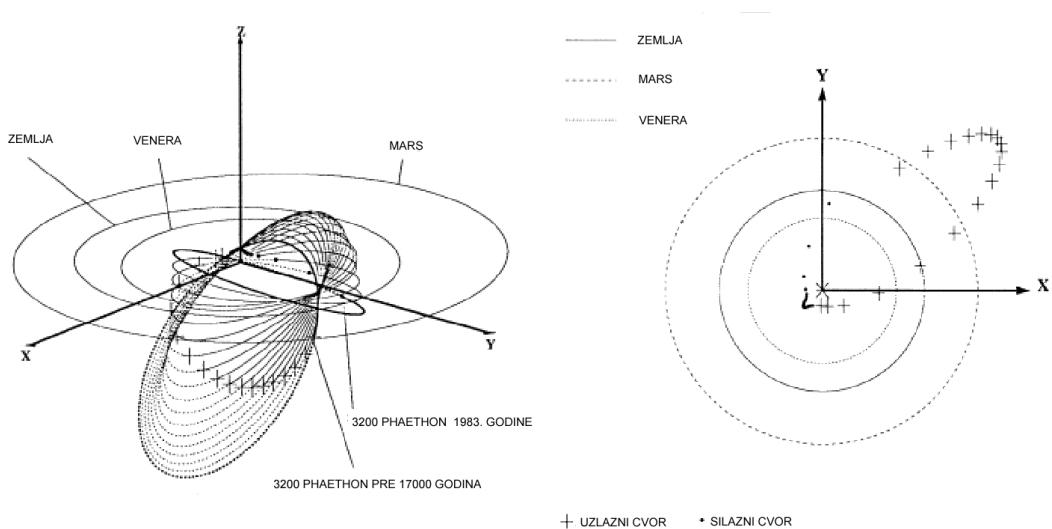


Slika 3.
Pomeranje preseka orbite Geminida sa Zemljinom putanjom. U kvadratima sa leve strane dat je profil aktivnosti roja. Navedeni model ukazuje da se najveća aktivnost Geminida odvijala u drugoj polovini XX veka i da će se tokom XIX stoljeća znatno smanjiti. (Prema: Fox *et al.* 1983)

otkrio neuobičajeno brz objekat, privremeno označen 1983 TB. Samo nekoliko dana po saopštenju otkrića, Fred Whipple (Fred L. Whipple), poznati stručnjak za mala tela Sunčevog sistema, primetio je da otkriveni objekat ima praktično iste orbitalne elemente kao 20 Geminida koji su pedesetih godina snimljeni kamerama Prerijske mreže (slika 5 i tabela 2) i nedvosmisleno aludirao na roditeljstvo (Whipple 1983). Dalja istraživanja ovog objekta, pre svega analize spektra, ukazale su da se radi o kamenom planetoidu. Dakle, stalo se na stanovištu da Geminidi najverovatnije potiču od kamenog planetoida iz grupe Apolo (jedna od tri grupe planetoida čije putanje ulaze unutar Zemljine orbite) koji je dobio označku 3200 Phaethon (Feton).

Tabela 2. Uporedni prikaz orbitalnih elemenata Fetona i Geminida

	A (AU)	q (AU)	e	i (°)	Ω (°)	ω (°)
3200 Phaethon	1.272	0.1395	0.8903	22.04	265.51	321.67
Geminidi – podaci IAU:						
radarski	1.350	0.1405	0.8960	24.07	259.87	324.58
fotografski	1.379	0.1413	0.8975	23.56	260.68	324.21

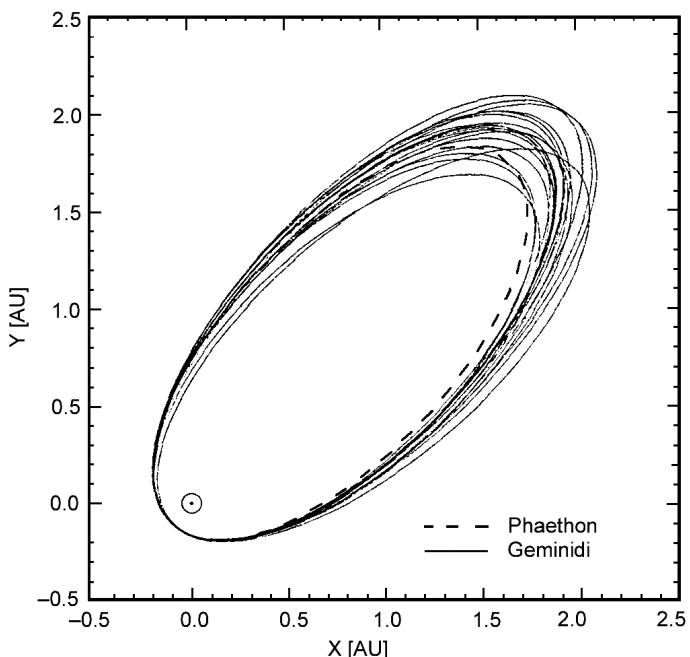


Slika 5.
Evolucija orbite Fetona
od 15000. pne do 1983.
(levo)
i položali čvorova
putanje (desno)
Preuzeto iz Williams &
Wu 1993

Odmah iskršava pitanje: kako meteorski roj može da nastane od planetoida? Kada su u pitanju komete, scenario je prilično jednostavan: meteoroidi se oslobađaju pri isparavanju kometskog leda, u blizini perihela. Naime, svakim prolaskom kometa pored Sunca, usled isparavanja, njeno ledeno jezgro (nije u pitanju samo običan led, odnosno zamrznuta voda, već pre svega zamrznuti ugljendioksid, amonijak, ugljovodonici...) biva sve tanje. Pri tome se oslobađaju suspendovane čestice prašine koje bivaju ‘oduvane’ strujama nastalih gasova.

Objašnjavajući poreklo Geminida, neki astronomi su predložili model prema kojem se radi o sudaru Fetona sa drugim asteroidom. Taj sudar je proglašen odgovornim, kako za nastanak meteorskih čestica, tako i za neobičnu putanju Fetona oko Sunca. U prvo vreme izgledalo je da ovaj model nudi sasvim zadovoljavajuće objašnjenje. Međutim, detaljnija proučavanja individualnih orbita dobijenih na osnovu paralaktičkih fotografskih snimaka meteora, pokazala su da međusobni raspored orbita nije u skladu sa pretpostavkom da su meteoridi nastali istovremeno na jednom mestu negde u okolini Marsove orbite, kako to model zahteva. Ispostavilo se, naime, da su orbitalni elementi čestica takvi kao da se raspadanje dešavalo bliže perihelu, gde je (ionako mala) verovatnoća sudara dva planetoida znatno manja.

Otprilike, pre jednu deceniju Bo Gustafson (1989), sa Plankovog instituta za nuklearnu fiziku, dolazi do zaključka da čestice čije su putanje analizirane (onih istih 20 Viplovih prerijskih meteora) nisu izbačene iz jezgra odjednom, već tokom vremenskog perioda od nekoliko stotina godina. Drugim rečima, planetoid 3200 Phaethon se u ovom slučaju ponaša kao komet. Dakle, podaci dobijeni analizom spektra planetoida protivrečni su onima koji se dobijaju analizom orbitalnih elemenata meteorskih čestica. Pod pretpostavkom da je Feton pravi odgovor.



Slika 5.
Uporedni prikaz orbitalnih elemenata Fetona (isprekidana linija) i 20 sjajnih Geminida i Fetona. Putanje su projektovane na ravan putanje Fetona. Uočava se da su orbite meteoroida uglavnom izvan putanje planetoida. Takođe, putanje meteoroida su u perihelu zbijene, dok su u afelu prilično razvejane (Gustafson 1989).

U prilično obuhvatnim simulacijama Vilijams i Vu su 1993. godine detaljno izanalizirali najverovatnije varijante evolucije Geminida. Došli su do novog teorijskog modela roja kojim se potvrđuje da je roditelj Geminida Feton, ili, u krajnjem slučaju, njegov predak (Williams & Wu 1993). Rezultati njihovog modela prilično se slažu sa posmatranjima.

Jezgro uspavane komete

Izgleda da su Geminidi ipak kometskog porekla. Dosta astronoma danas veruje da je Feton usahlo jezgro komete, prekriveno debelim slojem interplanetarne prašine koja je odgovorna za spektar ovog tela. Još je Ernst Epik (Öpik), veliko ime meteorske astronomije, 1963. godine izneo pretpostavku da većina planetoida iz grupe Apolo predstavljaju jezgra istrošenih kometa. Zapravo, kometa je, usled gravitacionog dejstva planeta, upala u svojevrsnu zamku tako da joj je orbita postala veoma izdužena, sa perihelom suviše blizu Suncu. Krećući se po novoj orbiti, aktivno jezgro komete je isparavalo, pri čemu su se oslobađale meteorske čestice koje su struje gasova izbacile na orbite koje, uglavnom, imaju i sada. Prema tome, Feton, kod kojeg nije primećen nikakav znak koji bi ukazao na postojanje gasovitog omotača ili neke druge kometske aktivnosti, predstavlja relativno skoro usahlu, a možda samo privremeno ‘uspavanu’ kometu.

Noviji podaci o Fetonu potiču uglavnom od posmatranja izvršenih 1997. godine, kada se ovaj planetoid približio Zemlji na rastojanje manje

od 50 miliona kilometara. Budući da je Feton sitno telo (dimenzija oko 30 km), sa te udaljenosti on se sa Zemlje video kao objekat 17. magnitude, tj. bio je desetak hiljada puta manje sjajan od najslabijih golin okom vidljivih zvezda. Fotometrijske analize dale su za period rotacije vrednosti između 3.5 i 4 časa, dakle vrednosti dosta manje od bilo kojeg poznatog perioda rotacije nekog kometskog jezgra (Wisniewski *et al.* 1997). Feton se suviše brzo vrati oko svoje ose, da bi mu sopstvena gravitacija održala integritet, pod pretpostavkom da se radi o jezgru komete. Da se ne bi potpuno raspalo, jezgro mora da ima gustinu iznad 1.1 grama po kubnom centimetru, a to je znatno više od srednje vrednosti gustine koju bi trebalo da ima jezgro ‘normalne’ komete (bar kako se sada misli da jezgra kometa izgledaju). Doduše, ostaje pitanje da li unutrašnje kohezione sile u jezgru mogu da budu dovoljne da, uprkos jakim centrifugalnim silama, održavaju jezgro celovitim.

Sve u svemu, poreklo Geminida još nije u potpunosti razjašnjeno. Sledеći bliski susret Fetona sa Zemljom očekuje se 2008. godine. Procenjuje se da će tada biti 50-tak puta sjajniji no 1997. godine, pa je možda ovo prilika da se dode do nekih novih podataka. Ukoliko zagonetka ne bude rešena pre toga.

Literatura

- Arlt R., Rendtel J. 1994. A Global Analysis of the 1993 Geminids. *WGN, the Journal of IMO*, 22: 167
- Fox K., Williams I.P., Hughes D.W. 1982. The evolution of the orbit of the Geminid meteor stream. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **205**: 1155
- Fox K., Williams I.P., Hughes D.W. 1983. The rate profile of the Geminid meteor shower. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, 199: 313
- Gustafson B.A.S. 1989. Geminid meteoroids traced to cometary activity on Phaethon. *Astron. Astrophys.*, **225**: 533
- Kronk G. 1999. Comets & Meteor Showers. <http://comets.amsmeteors.org/meteors/showers/geminids.html>
- Rendtel R., Rainer A., McBeath A. 1995. *Handbook for Visual Meteor Observers*. Potsdam: International meteor Organization
- Roth J. 1998. December’s Generous Geminids. *Sky & Telescope*, **96** (6): 117
- Whipple F.L. 1983. International Astronomical Union Circular 3881
- Williams I.P., Wu Z. 1993. The Geminid meteor stream and asteroid 3200 Phaethon. *Mon. Not. R. astron. Soc.*, **262**: 231
- Wisniewski W.Z., Michalowski T.M., Harris A.W., and McMillan R.S. 1997. Photometric Observations of 125 Asteroids. *Icarus*, **126**: 395

Rezultati vizuelnih posmatranja meteora PMG od jula 1997. do septembra 2001. godine

Marija Vucelja, Zorana Žeravčić, Kristina Veljković

Petnička meteorska grupa, u saradnji sa astronomskom grupom Društva istraživača u Valjevu i Astronomskim društvom "Alfa" iz Niša, tokom ovih godina izvela je par desetina posmatračkih akcija. Većina njih organizovane su paralelno na dve ili tri lokacije i uglavnom su obuhvatale vizuelna i fotografска posmatranja. Spisak lokacija sa kojih je posmatrano, kao i spisak posmatrača, nalaze se na kraju izveštaja.

Pri vizuelnim posmatranjima određivan je ZHR-profil, a gde je uzorak dozvoljavao i populacioni indeks. Srednje vrednosti ZHR su računate su po formuli (Arlt & Händel 2000):

$$\langle \text{ZHR} \rangle = \frac{1 + \sum_{i=1}^k N_i}{\sum_{i=1}^k \frac{T_{\text{eff } i}}{F_i C_i H_i}},$$

gde je N_i broj meteora viđenih u i -tom intervalu, F_i – korekcija za oblačnost, C_i – korekcija za graničnu magnitudu, H_i – korekcija za zenitnu daljinu radijanta, $T_{\text{eff } i}$ – efektivno vreme posmatranja, a k ukupan broj različitih posmatračkih intervala. Korekcije F_i , H_i i C_i računate su prema obrascima koje preporučuje Međunarodna meteorska organizacija (Rendtel *et al.* 1995). Tako izračunata srednja vrednost ZHR za određeni period posmatranja pridružena je "srednjem centralnom momentu", tj. vremenskom trenutku koji je dobijen težinskim usrednjavanjem svih posmatračkih intervala u izabranom periodu (najčešće je usrednjavanje rađeno za jednu posmatračku noć).

Greška je procenjena standradnom greškom srednje vrednosti:

$$\Delta \text{ ZHR} = \frac{\sigma}{\sqrt{k}}$$

gde je σ standardna devijacija računata po formuli:

$$\sigma = \left(\frac{\sum_{i=1}^k \frac{T_{\text{eff } i}}{F_i C_i H_i} (\text{ZHR}_i - \langle \text{ZHR} \rangle)^2}{\sum_{i=1}^k \frac{T_{\text{eff } i}}{F_i C_i H_i}} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

1997.

Kompleks Akvarida i Alfa Kaprikornidi

Mesto posmatranja: Debelo Brdo

Period posmatranja: od 27. jula do 2. avgusta

Posmatrači: CAJMA, DENDE, GAJMA, KECSR, KOTMA, JANVI, LUKVL, MILAA, MILNI, VUCMA

Rezultati:

Longituda Sunca:	126°.48	127°.48	128°.48
ZHR	CAP: 4 ± 1	4 ± 1	4 ± 1
	NDA: 5 ± 1	5 ± 2	4 ± 1
	SDA: 10 ± 3	11 ± 2	7 ± 1
	SIA: 2 ± 1	3 ± 1	4 ± 1

Napomena: CAP – Kaprikornidi, NDA – Severni Delta Akvaridi, SDA – Južni Delta Akvaridi, SIA – Južni Jota Akvaridi

Perseidi

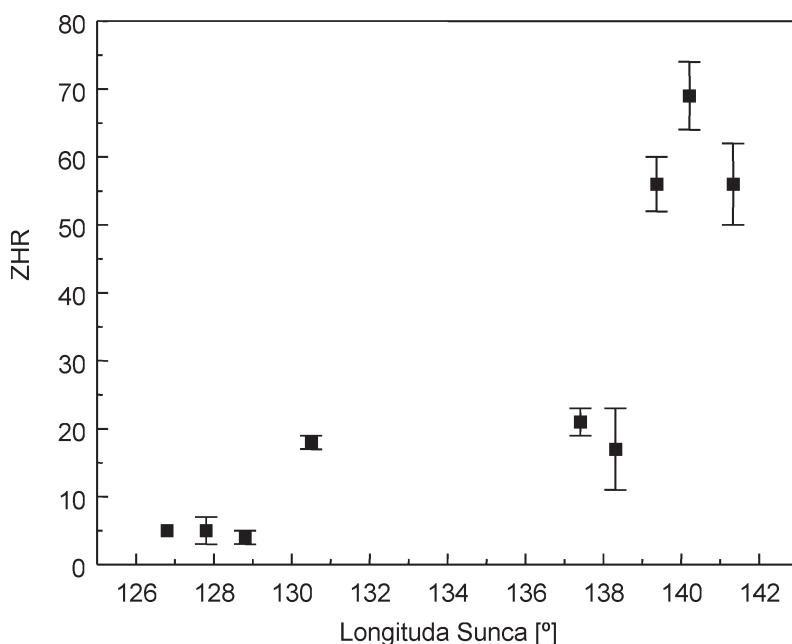
Mesta posmatranja: Debelo Brdo i Javornik

Period posmatranja: od 7. do 14. avgusta

Posmatrači: *Debelo Brdo:* BANAN, BOZNE, CAJMA, CEKMI, DENDE, DJOMI, JANVI, KECSR, MANTI, MILAA, MILIR, MILNI, NIKDA, PAVTA, POPMI; *Javornik:* MIOVJ, NEDSA, VUCMA, SLAVE

Rezultati: Grafik 1

Grafik 1.
Profil aktivnosti Perseida
u 1997. godini



Analiza: Prema detaljnoj analizi IMO na uzorku od 79 730 Perseida, (520 posmatrača, 5061 sati posmatranja), tradicionalni maksimum je viđen nad Azijom sa ZHR-om 94 ± 2 , pri longitudi Sunca $140.03 \pm 0.03^\circ$. Novi pik koji se posmatra od 1988. godine, ove godine je konstatovan na longitudi $139.71 \pm 0.01^\circ$ sa ZHR-om 137 ± 5 . Primećen je i treći maksimum, viđen nad Evropom, pri longitudi $140.35 \pm 0.03^\circ$ sa ZHR-om 68 ± 5 . (verovatno maksimum koji smo i mi konstatovali). Kada se (koristeći profil za populacioni indeks) iz ZHR-profila odredi fluks meteoroida, dobija se da su dva maksimuma koja okružuju tradicionalni istog intenziteta – oko 0.02 čestice po km^2h , i da su veoma bogati meteorima slabog sjaja.

Napomena: Efektivno je posmatrano oko 90 sati. U posmatranjima su učestvovali i novi posmatrači.

Orionidi

Mesto posmatranja: Petnica

Period posmatranja: od 18. do 22. oktobra

Posmatrači: BANAN, CEKMI, JANVI, KECSR, MANTI, MILDR, MIODI, MILAN, MILNI, NEDSA, NIKDA, POTDU, RADSO, SAVBR, SLAVE i ZIVIR

Rezultati:

Longitude Sunca: $206^\circ 41'$ $207^\circ 41'$

ZHR: 21 ± 3 25 ± 5

Napomena: Zbog loših vremenskih uslova posmatrano je dve noći. U posmatranjima su učestvovali i novi posmatrači.

1998.

Liridi

Mesto posmatranja: Medvednik

Period posmatranja: od 18. do 23. aprila

Posmatrači: BANAN, CEKMI, DIMEL, KECSR, MIHIV, MILAB, MILAA, NIKDA, PALOS, POTDU, SLAVE

Rezultati: Pri longitudi Sunca od $238^\circ 27'$, konstatovana je aktivnost od 4 meteora na sat.

Napomena: Organizovana su posmatranja iz Petnice, sa Medvednika i Debelog Brda. Vedro je bilo samo na Medvedniku 20/21 aprila.

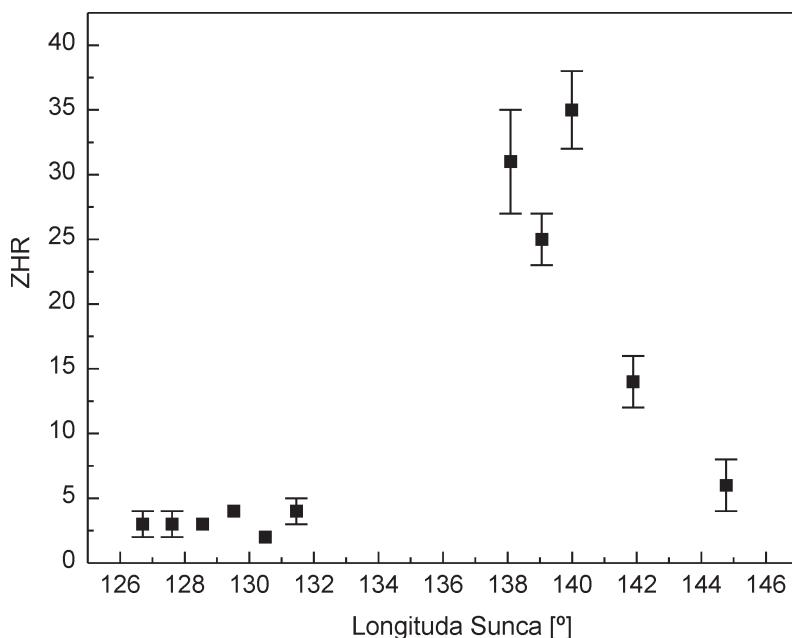
Perseidi

Mesta posmatranja: Debelo Brdo i Leskovice

Period posmatranja: od 27. jula do 18. avgusta

Posmatrači: *D. Brdo:* ADZVE, BANAN, CEKMI, DIMEL, JANVI, JOKIV, KECSR, KOTMA, KOSTI, MIHIV, MILAB, MILAA, NIKDA, PALOS, PAPZL, PAVTA, PESTA, POTDU, TOMDA, VLAMA; *Leskovice:* SAVBR

Grafik 2.
Aktivnost Perseida u
1998. godini



Rezultati: grafik 2

Leonidi

Mesta posmatranja: Petnica, Kamenički Vis, Bohyunsan.

Period posmatranja: od 14. do 19. novembra

Posmatrači: Petnica: BANAN, CAJMA, KECSR, MILDR, MILAA, MILNI, MIOVJ, NEDSA, PALOS, POPMI, SAVBR, SMOIG, VUCMJ i ZECTI; Kamenički Vis: NIKDA, SLAVE, MILIR, MILGO, POTDU, SEKMI, TOMDA, VLAMA;

Yongstok: BETFE, LUKVL, OKODR, VEEAN.

Rezultati: Petnica i Kamenički vis:

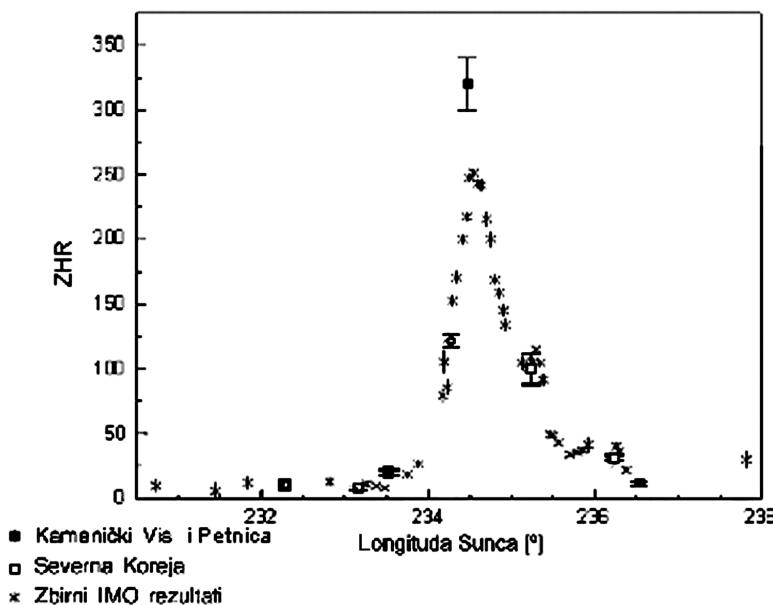
Longituda Sunca:	233°31'	236°32'	234°28'
ZHR:	20±2	11±1	320±20
Populacioni indeks (<i>r</i>):	1.8	1.2	2.1

Bohyunsan (Južna Koreja):

Longituda Sunca:	232°16'	233°09'	234°16'	235°14'	236°14'
ZHR:	9±1	7±1	121±4	100±12	32±2
Populacioni indeks:	2.5	2.3	1.5	2.0	1.9

Na grafiku 3 predstavljeni su dobijeni rezultati upoređeni sa konačnim rezultatima IMO-a

Analiza: Posmatranjima su zabeležena dva maksimuma, tradicionalno na longitudi Sunca od 235°308, i tzv. pozadinski maksimum na longitudi Sunca od 234°5. Prvi, koji je posmatran samo nad azijskim kopnjom,



Grafik 3.
Profil aktivnosti Leonida
1998. godine

nije ispunio očekivanja u pogledu ZHR, zabeleživši aktivnost od 180 ± 20 . Drugi maksimum je bio vidljiv nad Evropom, pri čemu je zabeležena vrednost ZHR od 320 ± 20 . Analiza raspodele populacionog indeksa pokazuje da je uglavnom bilo krupnih, izrazito sjajnih čestica, koje najverovatnije potiču od jednog od poslednjih prolazaka komete kroz perihel. ZHR je računat na osnovu vrednosti populacionog indeksa dobijenog iz naših posmatranja.

Napomene:

1. Zbog specifičnosti aktivnosti ovog roja, pri računanju ZHR za naše rezultate korišćene su vrednosti populacionog indeksa koje su dobijene iz tih podataka.
2. Na Kameničkom Visu imali smo jednu vedru noć i to za prvi maksimum; iz Petnice je posmatrano dve noći – pre i nakon maksima.

1999.

Perseidi

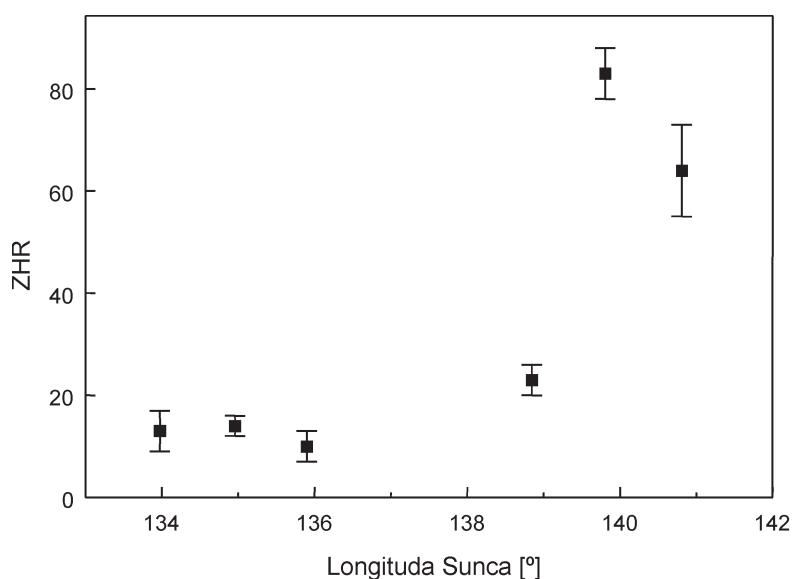
Mesta posmatranja: Kelebija i Kamen Bryag

Period posmatranja: od 6. do 14. avgusta

Posmatrači: *Kelebija:* ADZVE, BANAN, CEKMI, MIHIV, MILDE, MILIR, NIKDA, PALOS, PAVTA, POTDU, SLAVE; *Kamen Bryag:* CAJMA, MIOVJ, MILDR, MILNI, NEDSA, STAJE

Rezultati: grafik 4

Grafički 4.
Aktivnost Perseida u
1999. godini



Napomena: Posmatranja realizovana na kampovima za praćenje pomračenja Sunca.

2000.

Perseidi

Mesto posmatranja: Debelo Brdo

Period posmatranja: od 8. do 13 avgusta

Posmatrači: BESBO, BJEAD, BURVL, CAJMA, CEKMI, DROMA, JOVSN, LUKVL, MAKDA, MILMI, MILAA, NEKSN, PERVE, PESMI, RADIR, RADMA, SAVBR, SLAVE, STAJE, TOMDA, VUCMA, VELKR, ZERZO

Rezultati: grafik 5

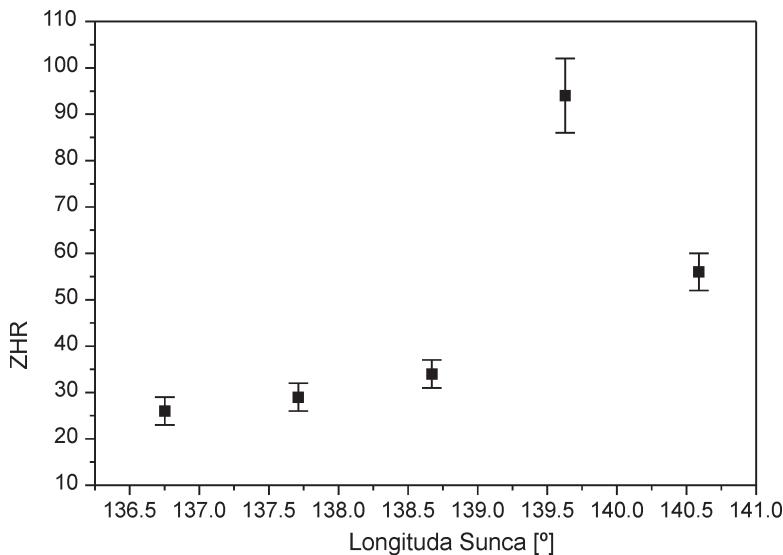
Napomena: Pun mesec u vreme maksimuma

Komentar: Pored tradicionalnog maksimuma pri Sunčevoj longitudi oko 140° , već deset godina uočava se još jedan maksimum promenljive jačine. Persedima ove godine »nedostaje« upravo ovaj pik. On je очekivan za 5h UT 12. avgusta. Grubom procenom, jer je bilo veoma malo posmatrača (49) dobijena je vrednost za tradicionalni maksimum ZHR-a od 110-120 (preliminarna analiza IMO). Našim posmatranjima ovaj deo aktivnosti nije obuhvaćen (bio dan).

Orionidi

Mesto posmatranja: Divčibare

Period posmatranja: od 19. do 24. oktobra



Grafik 5.
Aktivnost Perseida u
2000. godini

Posmatrači: ANDAN, BULVA, BANAN, BESBO, DROMA, JANVI, JOVOG, LEVML, MARNE, MILGO, MAKDA, MARAL, NASIV, NIKAL, NOVMI, NEDOG, NIKJO, PEVDJ, TOMDA, SELAN, PERVE, POVMI, POSVL, PETAN, POPFI, RAKBO, SAVBR, SLAVE, VUJRO, ZERZO

Rezultati:

Longitudea Sunca: $206^{\circ}51'$ $207^{\circ}51'$ $208^{\circ}50'$

ZHR: 35 ± 4 28 ± 3 20 ± 3

Napomena: Bile su tri vedre noći. Posmatranja su organizovana i na Debelom Brdu i u Petnici, ali zbog loših vremenskih uslova nisu realizovana.

Leonidi

Mesto posmatranja: Debelo Brdo

Period posmatranja: od 15. do 19. novembra

Posmatrači: CEKMI, SLAVE, ZERZO

Rezultati: Vrednost ZHR pri longitudi Sunca $236^{\circ}15'$ je 340 ± 80 što je u saglasnosti sa sumarnim rezultatima IMO.

Napomena: Samo jedan interval vedrog vremena, i to za vreme maksimuma.

Analiza IMO: Na osnovu aktivnosti podataka dobijenih od 230 posmatrača koje je IMO uključio u analizu, profil aktivnosti je superpozicija 3 različite raspodele. Maksimumi su: ZHR = 130 ± 20 pri Sunčevoj longitudi $235.28 \pm 0.01^{\circ}$, ZHR = 290 ± 20 pri longitudi $236.09 \pm 0.01^{\circ}$ i ZHR = 480 ± 20 na longitudi $236.25 \pm 0.01^{\circ}$. Prva raspodela odgovara fragmentima odvojenim od komete u 1932. godine. Druga je dosta široka, izgleda kao jednočasovni plato i smatra se da

potuče od meteorodija odvojenih od komete 1733. godine. Poslednja (navedene su respektivno po vrednostima longitude) raspodela smatra se da je od fragmenata iz 1866. godine. Ovo su sve naravno samo procene i treba razumeti da se za te raspodele dominantno sastoje od čestica izbačenih pri navedenoj revoluciji komete. Interesantno je to da, iako je poslednji maksimum 40 minuta "poranio" u odnosu na predviđanja ZHR profila, predviđena i opažena maksimalna vrednost populacionog indeksa se vremenski i kvantitativno poklapaju.

2001.

Liridi

Mesto posmatranja: Petnica

Period posmatranja: 16-23. april

Posmatrači: ANTDU, MILAA, RADMA, SAVBR, VELKR, VUJKA, VUJRO, ZERZO, ZUPLJ

Rezultati: Maksimum aktivnosti roja je konstatovan na longitudi Sunca od 31.96° . Dobijena vrednost ZHR je 31 ± 3 .

Napomena: Makondo! Vremenski uslovi su dozvolili samo jednu posmatračku noć (21/22.04) i to u vreme maksimuma aktivnosti.

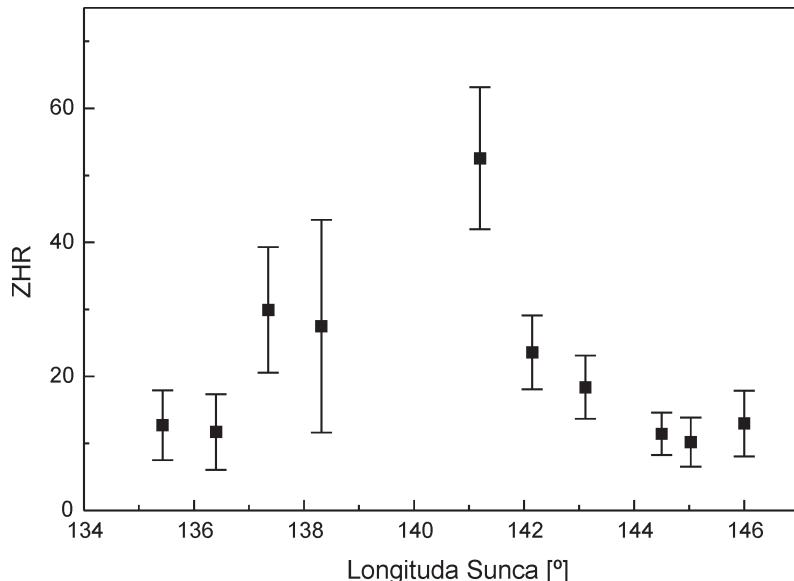
Perseidi

Mesto posmatranja: Debelo brdo, Petnica i Višnjan

Period posmatranja: od 7. do 18. avgusta

Posmatrači: ACIDR, ALEIV, ANDMI, ANTDU, BESBO, BULVA, BURVL, CEKMI, DIMEL, JOVOG, KREBO, MAKCA, MAKDA, MARAL, MARVL, MATDJ,

Grafik 6.
Posmatrana aktivnost
Perseida u 2001. godini



MATDO, MATKA, MILAA, NESMI, NIKDA, PERVE, POPMI, RADAL, SAVBR,
SLAVE, STAJE, TOMMA, VUCMA, ZERZO

Rezultati: grafik 6

Napomena: Tokom dve noći u vreme maksimuma bilo oblačno.

Komentar: Prema preliminarnoj analizi IMO, aktivnost Perseida je imala plato sa ZHR-om od 85 tokom 140-tog stepena Sunčeve longitude. Podaci pokazuju postojanje još dva maksimuma oko predviđenog. Maksimumi su: ZHR = 91.2 (140.14° Sunčeve longitude), ZHR = 93.8 (140.28° Sunčeve longitude) i ZHR = 103.2 (140.38° Sunčeve longitude). Postojanje ova dva okolna maksimuma nije pouzdano (mali broj posmatranja) i pri tom bilo dosta posmatrača, čije su vrednosti ZHR-a u odnosu na ostale inače uvek veće. Moguće objašnjenje za ovakav profil je da su čestice, izbačene pri poslednjoj revoluciji komete, "zatrpane" očekivani pik Perseida i tako formirale pomenuti plato.

Posmatračke lokacije

Lokacija	Geografska širina	Geografska dužina	Nadmorska visina (m)
Debelo Brdo	44°09'40"	19°41'50"	1040
Divčibare	44°07'20"	20°00'40"	1000
Hurel togoot, Mongolija	47°51'53"	107°03'07"	1578
Javornik, Slovenija	45°53'39"	14°03'52"	1140
Kelebija	46°09'00"	19°34'01"	130
Kamen Bryag, Bugarska	43°27'32"	28°33'15"	30
Kamenički vis	43°24'	21°57'	600
Leskovice	44°12'58"	19°49'49"	560
Medvednik	44°12'23"	19°40'19"	810
Petnica	44°14'48"	19°56'08"	222
Bohyunsan, Južna Koreja	36°09'	128°56'	1127
Višnjan, Hrvatska	45°16'53"	13°43'48"	200

Posmatrači

Dragan Aćimović ACIDR, Velibor Adžić ADZVE, Andrijana Andrić ANDAN, Milica Andelić ANDMI, Dušan Antić ANTDU, Ana Banković BANAN, Bojan Besednik BESBO, Felix Bettonvil BETFE, Adi Bjelak BJEAD, Božinović Nenad BOZNE, Vanja Bulatović BULVA, Vladimir Burgić BURVL, Marija Čajetinac CAJMA, Milan Cekić CEKMI, Dejana Denda DENDE, Elena Dimovska DIMEL, Miloš Đorđević DJOMI, Marija Drobniak DROMA, Marija Gajić GAJMA, Višnja Jankov JANVI, Ivan Jokić JOKIV, Ognjen Jović JOVOG, Snežana Jovanović JOVSN, Srđan Keča KECSR, Tijana Kosorić KOSTI, Marija Kotur KOTMA, Mladen Levnaić LEVML, Vladimir Lukić LUKVL, Časlav Maksimović MAKCA, David Maksimović MAKDA,

Aleksandar Marković MARAL, Đorđe Matić MATDJ, Katarina Matić MATKA, Tijana Mančić MANTI, Vladimir Marjanović MARVL, Aleksnadar Marković MARAL, Nemanja Martinović MARNE, Ivica Mihaljević MIHIV, Ana Milovanović MILAA, Ana Milosavljević MILAB, Dejan Milenkov MILDE, Dragan Milisavljević MILDR, Goran Milovanović MILGO, Iris Miljački MILIR, Milan Milošević MILMI, Nikola Milutinović MILNI, Vjera Miović MIOVJ, Dina Miović MIODI, Ivan Nastić NASIV, Olga Nenadović NEDOG, Saša Nedeljković NEDSA, Snežana Nektarijević NEKSN, Milan Nešković NESMI, Aleksandra Nikolić NIKAL, Dalibor Nikolić NIKDA, Jovan Nikolić NIKJO, Miodrag Novaković NOVMI, Dragana Okolić OKODR, Oskar Palinko PALOS, Zlatko Papić PAPZL, Tamara Pavlović PAVTA, Velimir Perišić PERVE, Miloš Pešić PESMI, Tatjana Peškir PESTA, Andrija Petrović PETAN, Đorđe Pevčević PEVDJ, Mila Popović POPMI, Dušan Popović POPDU, Filip Popović POPFI, Dubravko Potkrajac POTDU, Mirjana Pović POVMI, Vladimir Pošarac POSVL, Marina Radujkov RADMA, Irena Radić RADIR, Aleksandar Radivojević RADAL, Sonja Radosavljev RADSO, Bojan Rakić RAKBO, Branislav Savić SAVBR, Miodrag Sekulić SEKMI, Andelka Selenić SELAN, Igor Smolić SMOIG, Vesna Slaković SLAVE, Jelena Stanićević STAJE, Danilo Tomić TOMDA, Marko Tomić TOMMA, Anne van Veerden VEEAN, Kristina Veljković VELKR, Marija Vlajić VLAMA, Marija Vučelja VUCMA, Maja Vučković VUCMJ, Katarina Vujić VUJKA, Romana Vujsasinović VUJRO, Tijana Zečević ZECTI, Zorana Žeravčić ZERZO, Irena Živković ZIVIR, Ljubica Župonski ŽUPLJ.

Literatura

- Arlt R, Händel I. 2000. The new paek failed: first analysis of the 2000 Perseids. *WGN*, **28**: 166
- Rendtel J., Arlt R., McBeath A. 1995. *Handbook for visual meteor observers*. Potstdam: Internetional Meteor Organization
- [Http://www.imo.net/](http://www.imo.net/)

Kometa C/2000 WM1 (LINEAR) – analiza naravi jedne repatice

Igor Smolić

Proteklih godina na astronomskom nebu sve su uobičajenije komete bizarnih naziva, a za ovu hiperprodukciju sličnih i nemaštovitih imena zaslužni su veliki posmatrački projekti, podstaknuti narastajućom fobijom od “masovnog ubice iz svemira”. Postoje indicije da se pod bezličnim imenom C/2000 WM1 (LINEAR) nalazi šizofrena ličnost (bolje reći ličnosti) jedne komete. Dopustite da otvorim slučaj za javnost!

U trenutku otkrića (16 novembar 2000) od strane tima naučnika na projektu *Lincoln Near Earth Asteroid Research* (LINEAR), kometa se nalažila iza Jupiterove orbite i imala prividnu veličinu oko 18 magnitude, što je veliki sjaj za komete na toj udaljenosti. Nakon mesec dana putanja je bila pouzdano određena, ali se o budućem sjaju moglo samo nagađati. U to vreme niko nije mogao da prepostavi daljni razvoj komete. Vizuelne procene u periodu avgust-oktobar 2001. godine ukazivale su na veoma male promene sjaja komete na njenom putu ka unutrašnjim delovima Sunčevog sistema, iako se fluks sunčevog zračenja po jedinici površine jezgra povećao tri puta.

Početkom novembra kometa je pokazala i drugu stranu svoje ličnosti – sjaj je počeo naglo da raste (-0.2 magnitude na dan). Povećanje sjaja delom je prouzrokovano geometrijom posmatranja, jer je kometa krenula u “blisko” mimoilaženje sa Zemljom (2. decembar, minimalno rastojanje 0.316 AU). Međutim, još značajnije, povećanju sjaja je doprinela i neočekivano burna evolucija. Za samo tri nedelje integralna magnituda WM1 je pala sa 10.2 na 5.7.

“Slučaj” je posmatran 17. i 22. novembra sa Wooden opservatorije koja se nalazi u Sremčici (predgrađe Beograda) u cilju ispitivanja morfoloških promena u komi. Glavni instrument opservatorije u Sremčici je Schmidt-Cassegrain teleskop *Celestron Ultima 11*, prečnik ogledala 280 milimetara, sa reduktorom žižne daljine $f/6.5$. Detektor je CCD kamera *SBIG-ST7*, veličina polja snimka je 13.0×8.7 lučnih minuta, semplovanje $1''/\text{pix}$. Kometa se u ovom periodu brzo kretala po nebu – oko $0.1''/\text{s}$. Da bi se izbegli problemi sa praćenjem objekta u toku duge ekspozicije pravljene su serije snimaka (eksponacija za pojedinačni snimak bila je 10 sekundi).

Na pojedinačnim snimcima izvršena je standardna redukcija, tj. oduzimanje signala prouzrokovanih termalnom emisijom elektrona u čipu kamere i korekcija za defekte u osetljivosti sistema teleskop+kamera

Slika 1.

Kometa C/2000 WM1
(LINEAR), 17/18.
novembar 2001.

A: slika dobijena usrednjavanjem 60 pojedinačnih snimaka sa ekspozicijom od 10 sekundi
B: kao i prethodno samo u lažnim bojama
C: medijan-slika u lažnim bojama
D: slika dobijena primenom Larson-Sekanina algoritma na medijan-sliku sa uglom rotacije od 30° , prikazana u lažnim bojama; uočavaju se radijalne strukture u komi komete

Snimili:
Igor Smolić,
Nebojša Miladinović i
Dejan Buha

Slika 2.

Kometa C/2000 WM1
(LINEAR), 22/23.
novembar 2001.

A: slika dobijena usrednjavanjem 94 pojedinačna snimka sa ekspozicijom od 10 sekundi
B: kao i prethodno samo u lažnim bojama
C: medijan-slika u lažnim bojama
D: slika dobijena primenom Larson-Sekanina algoritma na medijan-sliku sa uglom rotacije od 30° , prikazana u lažnim bojama; uočavaju se razlike kod radijalnih struktura u odnosu na sliku od pre pet dana

Snimili:
Igor Smolić i
Zoran Todosijević

(flat-fielding). Nakon toga pojedinačne slike su “preklopljene” tako da se na svim snimcima poklopi fotometrijski centar komete (uslovno rečeno nukleus). *AstroArt*, software u kome su slike obrađivane, podržava dve opcije u slaganju slika: a) usrednjavanje i b) formiranje medijan-slike. Kako se kometa kretala u odnosu na zvezde, dobijene medijan-slike su skoro potpuno bez zvezda, i na njima se uočava samo kometa.

Da bi se ispitalo prisustvo podstruktura u glavi komete, na medijan-slikama primjenjen je *Larson-Sekanina* algoritam (LSA), koji preko radijalnog i/ili rotacionog gradijenta pojačava kontrast detalja. Radijalni LSA olakšava prepoznavanje varijacija u sjaju od centra objekta ka periferiji. Varijacije ovog tipa nisu detektovane kod ove komete. Rotacioni LSA izdvaja zrakaste strukture koje polaze od jezgra komete, tj. repove i mlazeve.

U noći 17/18. novembra 2001. godine napravljeno je 60 uspešnih pojedinačnih snimaka. Pomoću rotacionog LSA sa uglom rotacije od 30° primjenjenog na medijan-sliku izdvojene su tri radijalne strukture (slika 1), koje svedoče o intezivnim procesima u kometi. Struktura koja bi odgovarala normalnom repu komete nalazi se na pozicionom uglu $\Theta = 190^\circ$, dok se na $\Theta = 80^\circ$ nalazi mlaz materijala izbačenog sa površine jezgra. Velika raspršena struktura na $\Theta = 290^\circ$ je anti-rep. Zemlja se tih dana nalazila blizu tačke prodora kroz ravan orbite WM1, tako da je ovaj anti-rep projekcija prašine izbačene iz komete, a koji se približno nalazi u ravnini njene orbite.

Pet dana kasnije. Načinjena su 94 pojedinačna snimka komete. Primjenjen je isti algoritam za obradu slike. Komentar: *Pravo lice komete uvek je drugo lice!*

Detectovane su četiri zrakaste strukture (slika 2). Na $\Theta = 115^\circ$ normalni rep, a mlaz uočen pet dana ranije i dalje je bio na istom pozicionom uglu. Zemlja je u međuvremenu prošla kroz ravan orbite komete te se anomalni rep našao na $\Theta = 15^\circ$. Najinteresantniji detalj je uočen na $\Theta = 240^\circ$, podsećao je na fontanu. Uzani mlaz dužine oko $45''$, (minimalno 13000 km na udaljenosti komete) koji se zatim širio, sa obvojnicom oblika parabole. Prelepa ilustracija uticaja sunčevog vетра i svetlosnog pritiska na materijal komete, kod WM1 je u svetu prvo posmatrana sa Wooden opservatorije, koliko je do sada poznato autoru.

Dalje praćenje promena u strukturi C/2000WM1 (LINEAR) sa Wooden opservatorije onemogućilo je loše vreme i prelazak komete “duboko” na južnu nebesku hemisferu. Posmatranja sa drugih opservatorija ukazuju na nastavak burnih procesa, i na održavanje strukture fontane. Kometa je zasigurno izbacila velike količine prašine pri prolasku kroz unutrašnji Sunčev sistem te ne zaboravimo na moguće meteore 19. maja, kada će Zemlja biti najbliže orbiti WM1 na udaljenosti od 0.01 astronomске jedinice □

Vatromet u Bronzanom kotlu

Marija Vucelja

Veliki povratak

Godine 1998. ceo svet je s nestrpljenjem iščekivao veliki povratak Leonida, meteorskog roja koji nastaje od ostataka periodične komete 55P/Tempel-Tuttle. Svakih 33 godine kometa Tempel-Tuttle prolazi po-ređ Sunca gde se usled isparavanja ledenog jezgra, od nje odvajaju meteorske čestice ovog roja. Nakon toga Zemlju u novembru obasipa pljusak zvezda padalica.

Do pljuska meteora najčešće dolazi nakon prolaska matične komete kroz perihel (u intervalu od nekoliko godina), mada je cela stvar znatno kompleksnija i, između ostalog, zavisi od njenih orbitalnih elemenata. Tada na putanjama bliskim kometi ima mnogo novih sitnih čestica koje će se sa ovih putanja vremenom razvejati usled efekata prvenstveno elektromagnetne prirode (Pointing-Robertsonov i efekt Jarkovskog) i, u manjoj meri, gravitacionog uticaja planeta. Presecanjem Zemljine putanje sa orbitom roja mi opažamo njegovu aktivnost koja je, kada je reč o pljusku, znatno veća od uobičajene. Prethodni pljusak Leonida bio je prilikom prolaska komete Tempel-Tuttle kroz perihel 1966. godine. Nakon toga kometa je ponovo prošla kroz perihel u februaru 1998. godine i zato su sve nade za "veliki povratak" vezivane za novembar te godine.

Po proračunima, maksimum je očekivan 17. novembra u 19 UT. Pošto je u to vreme u Evropi radijant roja ispod horizonta, svi su hteli da budu što istočnije. Azija je mamila astronome. Maštali smo o Kini, Korejama, Rusiji, Mongoliji... Te jeseni Irena Živković i ja smo shvatile da je pljusak Leonida suviše značajan događaj za nas, da bismo ga propustile. Imale smo već tri godine iskustva u posmatranju meteora i moram priznati da su nam se upleli u trepavice. Morale smo biti na licu mesta.

Putovanje na istok

Nekoliko nedelja pre 17. novembra krenuli smo u iscrpljujuću jurnjavu za sponzorima. U poslednjem momentu, sa raznih strana, stigla nam je pomoć u parama i opremi. Naoružane sa osam fotoaparata, specijalnom video kamerom, četiri stativa, od kojih smo jedan – nosač pet fotoaparata, same dizajnirale, i raznim pomoćnim stvarčicama (produžni kablovi, klešta, lepak, izolir traka...), krenule smo sa po 40 kilograma prtljaga svaka.

Do Ulan Batora (Ulaan Baatar), glavnog grada Mongolije, stigle smo preko Moskve, gde smo menjale avion. U našoj prvoj poseti

Moskvi, jedan dan bio je dovoljan za šetnju do Kremlja, posetu ambasadi i razgledanje arhitekture (kroz prozor automobila). Moskva nas je osvojila. Sve u njoj ostavlja utisak moći i snage – ulice su ogromne, šest traka u jednom i šest u drugom smeru, između zgrada čitave livade, ivice zgrada izmiču iz vidnog polja i po širini i po dužini... Bile smo zaspunjene veličinom stvari oko nas. No, jedno opažanje nas je zabrinjavalo: na -10°C do -15°C , koliko je tada iznosila temperatura u Moskvi, nama je bilo hladno i kombinacija od "mont" plus "diadora" jakna nije nam bila dovoljna. A znale smo da će u Mongoliji biti hladnije...

Novi avion i novi prijatelji. Prvo smo se, sasvim slučajno, upoznale sa grupicom od troje Slovaka koji su isto astronomi, imaju iste prijatelje kao i mi i žele da gledaju pljusak iz Mongolije, ali nisu znali gde će se smestiti. Prihvatali smo ih u društvo jer smo mi te probleme već rešile: pre puta smo se dogovorile sa posmatračima iz Nemačke da zajedno posmatramo sa nacionalne mongolske astronomске opservatorije. U avionu smo sreli i grupu Hrvata, tačnije deo njihove posmatračke skupine za meteore – PPPS DOK sa snimateljem HTV-a.

Sedam časovnih zona istočnije

Ulan Bator iz pticje perspektive – puno fabričkih dimnjaka, visoke planine, gomila jurti, par zgrada između njih i mala zaleđena pista. Na aerodromu su nas sačekali mongolski astronomi. Sa Slovacima smo se smestili u jedan stan nedaleko od astronomskog istraživačkog centra. Pošto je naš avion leteo jednom nedeljno, da ne bismo stigle baš na 17. novembar, stigle smo nedelju dana ranije i otišle nedelju dana kasnije, što nam je pružilo priliku da upoznamo prestonicu ove daleke i velike zemlje... Nažalost, kako je sve bilo pokriveno snegom, pa samim tim i nepristupačno, mogle smo samo malo putovati izvan glavnog grada.

Arhitektura grada nije impresivna – pun je bezličnih kockastih, krajnje funkcionalnih i dosta prljavih zgrada. Ima, možda i previše instituta, bolnica, muzeja i koledža (koje su podigli stranci), i gomilu jurti – tradicionalnih mongolskih kućica od goveđe kože, u kojima živi tri četvrtine Mongole. Ulan Bator ima prelepne budističke hramove. Najveći od njih je Gandan, u kome se nalazi druga po veličini uspravna statua Bude. Oko grada su četiri fabrike bakra (Mongolija ima najveći rudnik bakra na svetu) koji je, pored stočnih proizvoda, njihova najznačajnija sirovina.

Napravila bih malu digresiju i iznela par impozantnih brojki: Mongolija ima površinu veću od polovine Evrope. U njoj živi oko 2 miliona stanovnika koji se uglavnom bave stočarstvom i oko 30 miliona grla stoke. Ovde nije neobično videti kravu latalicu koja pase u dvorištu muzeja, svinju kako se sa malim prasićima slobodno šeta gradom...

Stanovnici se dele na jako bogate i jako siromašne. Kada kupujete cigarete pitaju vas koliko hoćete – prodaju ih i na komad, dok se na ulicama svuda vide luksuzna vozila.



Učesnici *International Leonid Watch* programa
ispred zgrade
opservatorije Hurel
togoot

Srdačnost nas je okruživala i od strane Mongola i od malobrojnih tamošnjih Jugoslovena koje smo upoznale. Našim zemljacima dugujemo zahvalnost za svoja posmatranja, jer bez njihovog video-rekordera ne bi bilo snimaka kamerom.

Još jedna opaska vezana za vreme – neposredno po dolasku temperatura je bila oko 0°C, kao kod kuće. Tada nismo znale da je to toplotni rekord sezone i da je nula u novembru prava retkost.

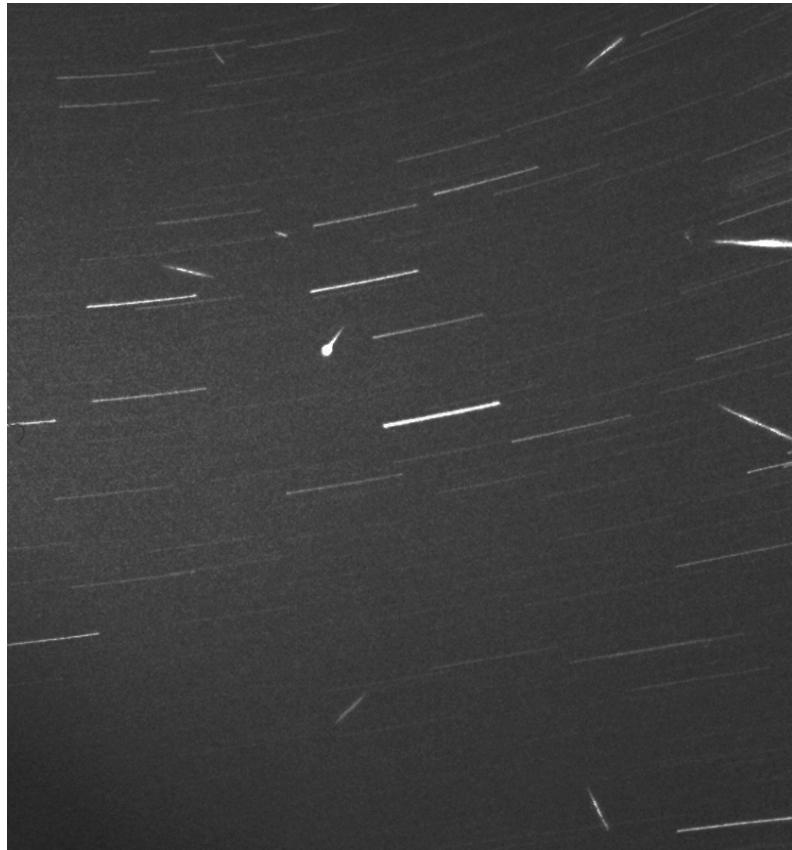
Vatromet

Ujutro 13. novembra uputili smo se ka opservatoriji koja se nalazila u planinama, tridesetak kilometara od grada. Putevi ovde ne postoje, a ako ih ima, zimi su izbrisani snegom, tako da trasu kretanja birate sami (naravno u džipu sa dobrom gumama). Nakon celodnevne vožnje po snežnim planinama na kojima ne raste ni drveće ni žbunje, gde svi pejzaži neverovatno međusobno liče, pronašli smo cilj. Opservatorija ima par zgrada i desetak kupola i nalazi se na 1600 metara nadmorske visine. Prvo obližnje selo zove se Hurel togoot (na mongolskom “Bronzani kotač”). Selo nismo videli, jer se sa opservatorije, iako se nalazila na vrhu planine, od četinarskih šuma i par desetina metara koliko je deli od samog vrha, ne vidi predeo iza planine. Šetnje zbog vukova nisu preporučljive.

Sutradan je stiglo dvanaest Nemaca na čelu sa Jirgenom Rentelom, par mongolskih astronoma, uključujući i našeg domaćina doktora Behtura, direktora opservatorije (Mongoli imaju samo ime, nemaju prezimena), nekoliko Kanađana i Amerikanaca na čelu sa Peterom Braunom, pokrećačem *International Leonid Watch* programa, čiji smo svi mi bili učesnici. Hrvati i deo Kanađana smestili su se daleko od nas u stepi. Svako jutro uz kafu, čaj, a kasnije tokom dana i mlečnu votku (mongolsko nacionalno piće) družili smo se, pevali i časkali o “meteorskim” iskustvima.

Sjajan Leonid u sazveđu Lava. Na originalnom snimku vidi se još osam Leonida snimljenih za pola časa eksponiranja.

Foto: Marija Vucelja,
Hurel togoot, 17/18.
novembar 1998.



Opaska o vremenu: -19°C u podne.

Sve noći do 16. novembra bile su oblačne. Potom se razvedrilo (ipak je Mongolija zemlja sa oko 100 sušnih dana u godini). Svi smo se ozarili i u žurbi postavili fotoaparate i kamere da snimaju. Nemci i Slovaci koji su imali bolju odeću od naše posmatrali su i vizuelno. Mi smo pokušale, ali smo onda ustanovali da je od -34°C na snegu, mnogo prijatnije i za nas i za opremu -26°C na terasi.

Usledio je spektakl. Cela planina je vrištala od urlika oduševljenja pri prolasku veoma sjajnih meteora. Meteora čiji su tragovi ostajali na nebu više minuta, meteora od kojih je čovek mogao videti svoju senku na snegu. Meteora koji su mogli da nadmaše sjajem pun Mesec. Kako je noć odmicala i jutro se bližilo, aktivnost se još povećavala. Shvatili smo da su posmatrači iz Evrope u boljoj poziciji od nas.

Slovaci i mi smo pokušali da snimimo i spekture meteora, no nismo imali sreće. Hrvati su snimali elektrofonske zvukove (zvukovi pri prolasku meteora kroz Zemljinu atmosferu). Sledeće dve noći sjajnih meteora nije bilo u tolikoj meri.

Šta se zapravo desilo?

Mediji su objavili da su astronomi promašili vreme maksimuma. U stvari reč je o tome da su maksimum koji smo videli uzrokovale čestice izbačene prilikom ranijih prolazaka komete. Bila je to populacija dominantno sastavljena od veoma sjajnih i starih meteora, a ne nov, očekivani, materijal, za koji su pravljena predviđanja. Naime, očekivao se susret sa meteoroidima koji potiču od poslednjeg prolaska komete kroz perihel (1998), strujom mladih čestica, visokog masenog indeksa i teorima slabijeg sjaja.

Meteorski roj Leonida povezan je sa periodičnom kometom 55P/Tempel-Tuttle koja je prošla kroz perihel u februaru 1998. godine. Zato se od ovogodišnjeg prolaska Zemlje kroz čvor kometine orbite, koji je bio sredinom novembra, dosta očekivalo. Predviđao se veoma uzak maksimum aktivnosti dominantno sastavljen od meteora slabog sjaja, sitnijih meteoroida. Ovo predviđanje bilo je zasnovano na posmatranjima prethodne dve–tri revolucije komete. Do njih možete doći i sledećim rezonovanjem – najviše fragmenata komete se zatiče prolaskom Zemlje neposredno »iza« komete. Takva raspodela bi morala biti uža i gušća nego pri ostalim prolascima, jer su čestice manje vremena izložene elektromagnetnim i gravitacionim uticajima koji dovode do njihovog rasturanja. Takođe fragmenti manje mase, meteori slabijeg sjaja, podložniji su uticaju ovih sila, tako da se kraće zadržavaju na putanjima bliskim kometinoj. Ovaj maksimum je bio prisutan, ali je uglavnom kod posmatrača, koji su očekivali znatno veću njegovu aktivnost, prošao nezapaženo. Tek detaljnija analiza posle sakupljenih podataka iz celog sveta, kakvu je uradio IMO, potvrdila mu je prisustvo.

Dve navedene raspodele, jedna široka, sastavljena uglavnom od sjajnih meteora, (nazovimo je *raspodela "starih" fragmenata*, pošto se radi o česticama koje su izbačene iz jezgra prilikom ranijih prolazaka komete) i druga, očekivana ali mnogo manje intenzivna nego što je predvidano, uska i sastavljena uglavnom od meteora slabog sjaja (nazovimo je *raspodela "mladih" fragmenata*, pošto su u pitanju čestice izbačene prilikom poslednjih prolazaka komete) superponirane su na prilično široku "pozadinsku komponentu" koja je opservabilna najmanje desetak godina po prolasku komete kroz perihel. ("Pozadinska komponenta" može se shvatiti kao svojevrstan šum u odnosu na ove raspodele.)

Dakle, analize su pokazale da aktivnost Leonida karakterišu dva maksimuma različitog porekla:

– **Raspodela "starih" fragmenata** – intenzivna i široka komponenta sastavljena od čestica koje su izbačene pre 500-1000 godina. Maksimum je bio pri longitudi $\lambda = 234.528 \pm 0.006^\circ$ (17. novembar 1998, 1^h55^m UT), ZHR 357 ± 11 ; širina raspodele se procenjuje od 10.5 do 13.5 sati. Deo ove aktivnosti bio je vidljiv iz Azije u noći 16/17. novembra i to je ono što smo i mi videle.

– **Raspodela “mladih” fragmenata** – sa maksimumom pri longitudi $\lambda = 235.311 \pm 0.007^\circ$ (17. novembar 1998, $20^{\text{h}}33^{\text{m}}$ UT, nekih 75 minuta po prolasku Zemlje kroz čvor kometine putanje), ZHR-a 136 ± 5 . Maksimum se vremenski poklapa sa trenutkom kada je populacioni indeks bio najveći, što ukazuje na to da je pretpostavka da ovu raspodelu formiraju “mlade” čestice valjana (ovde pod mladim, smatramo čestice izbačene u poslednjih 100 godina, poslednje 3 revolucije). Profil ove raspodele je prilično uzan. Kada se oduzme ideo (što je veoma komplikovan posao) “pozadinske komponente” i raspodela “starih” fragmenata, dobija se i dalje jako uzan profil, širine 2.6 h sa maksimalnim ZHR-om 80.

Simulacije koje su pravljene (IMO i drugi) za kretanje preko milion čestica izbačenih u poslednjih 2000 godina pokazale su veoma dobro slaganje sa opaženim maksimumom raspodele “starih” fragmenata. Pošto su se preferirale masivnije čestice u simulacijama, raspodela “mladih” fragmenata nije uočljiva ovim modeliranjem. IMO prepostavlja da je raspodela “mladih” fragmenata sastavljena od meteoroida izbačenih pre par revolucija komete (tokom 1965, 1932 ili 1899. godine).

IMO je prikupio podatke o 70800 Leonida od 473 posmatrača. Bilo je posmatrača iz 43 države: Australija, Austrija, Belorusija, Belgija, Brazil, Bugarska, Češka, Danska, Ekvador, Estonija, Finska, Francuska, Holandija, Hong Kong, Hrvatska, Indija, Italija, Izrael, Japan, Jordan, Jugoslavija, Južna Afrika, Južna Koreja, Kanada, Kazahstan, Kina, Kuba, Mađarska, Maroko, Nemačka, Novi Zeland, Pakistan, Papua Nova Gvineja, Poljska, Portugal, Rumunija, Sjedinjene američke države, Slovačka, Slovenija, Španija, Ukrajina, Venecuela i Velika Britanija. U svakom kutku Zemaljske kugle bio je neki budan posmatrač, zato je “noć 16/17 novembar 1998” mogla tako dobro i detaljno da se proanalizira, što će sigurno pomoći dubljem shvatanju prirode ovog roja, a i fizike meteora

U stepi, pored jurte. U prvom redu u sredini je dr. Bekhtur – direktor astronomske opservatorije; levo je njegova supruga Dugarma – direktor geofizičkog zavoda u Ulan Batoru (obe ustanove su pri Istra'ivačkom centru za astronomiju i geofiziku Mongolske akademije nauka); desno je Simona Rapavi (Slovačka). U drugom redu, s leva na desno: Jaroslav Gerboš (sa opsetravtorije u Rimovskoj Soboti – Slovačka), Irena Živković (Niš), Marija Vučelja (Beograd) i vozač.

Foto: Pavol Rapavi



uopšte. U svakom slučaju, u srcima mnogih ostao je jedan nezaboravan doživljaj, barem u mom sigurno jeste.

Ulan Bator - Moskva - Beograd

Preostale dane u Ulan Batoru iskoristile smo za obilazak muzeja, otišle smo i na izlet sa mongolskim astronomima i Slovacima (ovaj put 70 km južno od grada) da bismo posetili pravu jurtu i jednu nomadsku porodicu. Bili smo sa "Jugovićima" na mestu gde je Jul Briner snimao film o Džingis kanu; tu smo videli gomilu jurti koje su, zbog potreba scenografije, imale točkove da bi se lakše pomerale. Učile smo mongolski, ja i ruski... Zatim Moskva, tri dana užurbanog skitanja – muzej kosmonautike, Kremlj ponovo, Borodinska bitka, izložba eksperimenata iz fizike, pa opet Kremlj... Opaska o vremenu: u Moskvi je bilo samo -5°C . Posle Mongolije, za nas je to bilo toplo!

Do nastavka priče o Leonidima...

1999. IMO je u analizu uključio 434 posmatrača, posmatralo se iz zapadne Azije, Evrope i Afrike. Na dobijenom profilu aktivnosti uočeno je par maksimuma. Prva raspodela odgovara meteorskom pljusku, maksimum ima pri longitudi $235.285 \pm 0.001^{\circ}$ (18. novembar u $2^{\text{h}}02^{\text{m}} \pm 2^{\text{m}}$ UT), ZHR-a 3700 ± 100 (procena je napravljena na osnovu 2.8 minutnih intervala). Smatra se da potiče od čestica odvojenih od komete još 1899. godine. Zapaženo je da ovu raspodelu, koja odgovara pljusku, odlikuje znatan i neuobičajen nedostatak veoma sjajnih i veoma slabih meteora. Druga raspodela "sedi" na prvoj, kao statistički značajno odstupanje, sa maksimumom pri longitudi 235.272° (18. novembar u $1^{\text{h}}43^{\text{m}}$ UT). Ona najverovatnije potiče od fragmentima iz 1932. godine. Obe ove raspodele su predviđene numeričkim simulacijama. Posmatrajući profil aktivnosti 1999. uočava se i raspodela centrirana pri longitudi od $235.87 \pm 0.04^{\circ}$ (18. novembar 1999. godine, $16^{\text{h}}1^{\text{m}}$ UT) sa ZHR-om od 180 ± 20 meteora na sat. Smatra se da ona potiče od revolucija pre 1899. godine. Vreme maksimuma ove raspodele dosta se dobro poklapa sa predviđanjima.

2000. Rezultati na osnovu posmatranja 230 posmatrača uključenih u analizu IMO. Profil aktivnosti čini superpozicija 3 raspodele. Prva ima maksimum pri longitudi $235.28 \pm 0.01^{\circ}$ (17. novembar, $8^{\text{h}}07^{\text{m}}$ UT), što je oko 15 minuta posle predviđenog vremena za prolaz Zemlje kroz fragmente iz 1932 godine. ZHR je 130 ± 20 . Druga raspodela je dosta široka, izgleda kao jednočasovni plato sa maksimumom pri longitudi $236.09 \pm 0.01^{\circ}$ (18. novembar, $3^{\text{h}}24^{\text{m}}$ UT), ZHR 290 ± 20 . Smatra se da potiče od meteoroida odvojenih od komete 1733. godine. Treća raspodela je centrirana pri longitudi od $236.25 \pm 0.01^{\circ}$ (18. novembar, $7^{\text{h}}12^{\text{m}}$ UT), što je oko 40 minuta pre predviđenog maksimuma za fragmente iz 1866. godine. ZHR je na toj longitudi 480 ± 20 . Zanimljivo je da

populacioni indeks dostiže maksimalnu vrednost od 2.2 tačno kada je i predviđeno, 40 minuta posle maksimuma aktivnosti.

2001. Preliminarna analiza podataka koju je napravio IMO bazira se na 30-tak izveštaja. Na dobijenom profilu aktivnosti uočavaju se dve raspodele. Prva ima maksimum između $10^{\text{h}}30^{\text{m}}$ i $10^{\text{h}}40^{\text{m}}$ UT 18. novembra, ZHR oko 1400. Druga raspodela je centrirana oko $18^{\text{h}}20^{\text{m}}$ UT 18. novembra, ZHR oko 2800. Na osnovu oblika raspodele koja je bogatija meteoričkim naslućuje se da u nju "ulaze" i fragmenti 9 revolucija stari.

Hvala!

Iskoristila bih ovaj članak da se zahvalim svima koji su potpomogli naše putovanje, jer su nam podarili uspomene kojih ćeemo se sećati celog života. Bez njih sve ono što smo videle ostalo bi nam nedostupno: Istraživačka stanica Petnica, Fond za otvoreno društvo, Ministarstvo za nauku i tehnologiju, "Drvoimpex" Valjevo, Društvo istraživača Valjeva "Vladimir Mandić Manda" iz Valjeva, CIP, "Angrosirovina" Valjevo, Javno komunalno preduzeće Valjevo, Elektro-Valjevo, Fabrika ulja "Dijamant" Zrenjanin, "Fimex" Zrenjanin, jugoslovenski konzul u Mongoliji Ilija Aćimović, kao i jugoslovenski biznismeni u Ulan Batoru, jugoslovenska ambasada u Moskvi, uredništvo "Naučnih nedeljnih novosti" 1. programa RTS-a, Novinarska agencija "Beta", Astronomsko društvo "Alfa" Niš, Savez studenata Niša. Takođe bih se zahvalila prijateljima i roditeljima na podršci i razumevanju. Izvinjavam se, ako sam nekoga zaboravila, verujte da nije bilo namerno □

Višnjan – opservatorija mala, ali poznata

Zorana Žeravčić

U zapadnom delu Istre, nekih petnaestak kilometara od jadranske obale, nalazi se mestašce Višnjan. Od ostalih istarskih gradića izdvaja se po istoimenoj opservatoriji, odnosno Zvjezdarnici Višnjan. Ovo ime je dobro poznato u svetu posmatračke astronomije jer je impozantan broj malih tela Sunčevog sistema otkriven baš ovde.

Početkom avgusta 2001. godine nas četvoro (Vigor, Janev, Igor i ja) išli smo da ih posetimo. Jedan od ciljeva naše posete bila je Višnjanska škola astronomije (VSA), koja se ovde preko deset godina tradicionalno organizuje. Po dolasku u Višnjan, 4. avgusta oko šest popodne, zatekli smo Zvjezdarnicu pustu, pa smo iskoristili priliku za šetnju gradićem.

Višnjan može da se obide za nekih pola sata, ali samo ukoliko ne zagledate arhitekturu koja je jako zanimljiva. U samom centru je gradski trg – plato okružen drvoredom kestena sa sunčevim satom (sat je postavljen ove godine, a radovi na njemu još traju). Ako smo okrenuti ka satu, sa desne strane se nalazi zgrada opštine, koja je deo svojih prostorija ustupila raznim društvima, uključujući i astronomsko društvo Višnjan (kupola se vidi kako proviruje iznad kestenova). Na suprotnoj strani su stambeni objekti – kućice i kuće, prodavnice, pekara, apoteka, pošta... sve na po minut udaljeno jedno od drugoga. Najmarkantniji deo je nešto dalji od trga – crkva, toranj i zidić, sa koga se vidi more. Nasuprot sata je osnovna škola, a nešto dalje lokalni restoran.



Centar Višnjana sa opservatorijom koja je postala čuvena u svetu. U prvom planu trg sa sunčanim satom.

Kupola nove
opbservatorije u Tičanu



U ponovnom prolasku pored opbservatorije zatekli smo naše domaćine spremne za novu posmatračku noć. Tu su bili Korado Korlević, duhovni vođa zvjezdarnice i dvojica Mâria (astronomi-programeri). Pokazali su nam 16" teleskop koji je montiran pre petnaestak godina. Potom nas je Korado odveo da vidimo mesto po imenu Tičan, gde se gradi infrastruktura za jednometarski teleskop. Na svom putu iz Italije za univerzitet u Ankari, taj teleskop je zалutao kod Višnjanaca i tu ostao.

Odseli smo u stacionaru koji se nalazi odmah pored tamošnje osnovne škole. Tu će nam se kasnije pridružiti i polaznici VSA. Sobe u stacionaru su prilično prostrane, sa po šest ležaja, a mesta uvek ima za još. Kako umesto kreveta koriste dva do tri dušeka, poređana jedan na drugi, broj ležaja se lako može prilagoditi trenutnim potrebama. Ishrana je organizovana u obližnjem restoranu. Ali, prave istrijanske specijalitete – od dagnji, lignji i mušula, preko tartufa, do njokica, crnog domaćeg vina i voća napijenog mladim belim vinom sa medom... upoznali smo tek prilikom obilaska Istre. Korado nam je bio vodič.

Škola astronomije je počela dva dana po našem dolasku. Dvadesetak polaznika je bilo podeljeno u četiri grupe, pri čemu je svaka imala po jedan projekat. Prva grupa je posmatrala Perseide i nju je vodio Nikola Biliškov. Posmatrali su samo vizuelno, pri čemu je rađen i ploting. Plan je bio da sami na osnovu podataka koje sakupe, kao i rezultata posmatranja iz sveta, izračunaju populacioni indeks Perseida. Druga grupa se bavila kometama, a njom je dirigovao Giovanni Sostero. Sostero je čovek koji se u stvarnom životu bavi adaptivnom optikom za X zrake, a u paralelnom je astronom-amater čije ime takođe često možete da vidite na internetu, ako vas zanimaju snimci novootkrivenih kometa, asteroida ili novih. Ovoga puta su snimali tri aktuelne komete: C/2000WM1,

C/2001A2 i 19P/Borrelly. Treća grupa se bavila programiranjem softvera u astronomske svrhe, a mentori su naravno, bili dvojica Mâria. Četvrta grupa je nosila naziv "razno" i bila u nadležnosti samog Korada. Pod "razno" se podrazumevalo u bukvalnom smislu sve na šta može da se nađe – asteroid, kometa, nova...

Već prve noći se krenulo sa snimanjem i posmatranjem. Posmatračka noć u Zvjezdarnici je otrpilike izgledala ovako: Kamera je dovoljno ohlađena... trebalo je već da počnemo... uzimaj prvi snimak... biće da je fokus pomeren... Pitanje upućeno Koradu: kako znate da fokus nije dobar? Odgovor: procenjujem po stepenu kome na snimku (nije se šalio). Odmah odlazi to da reguliše... Ok, sad smo spremni, ukucajte koordinate polja... uzimajte snimak... još jedan... ok, bolje od ovoga trenutno ne može... imate oko tri minuta da pretražite snimak polja koje ste snimili... Ne bih rekao da ovde ima išta... šta je sledeće?

Podaci sakupljeni tokom noći obrađivani su sutradan. Naravno, bilo je i onih koji nisu mogli da dočekaju sutra da bi obradili ccd snimke, već su nestrpljivo i zaluđenički odmah pričanjali na rad (Igor i Giovanni).

Snimanja i posmatranja su se nastavila i narednih noći. Nas dvoje smo se opredelili za različite grupe: Igor se pridružio kometašima i grupi "pod razno", a ja sam uglavnom vreme provodila sa mladim meteorašima. Posmatračko mesto nam je bilo u centru Višnjana – na fudbalskom terenu pored škole. Od domaćih posmatrača veterana bio je samo Bilni (Biliškov). Ostatku meteorske grupe je ovo bilo prvo posmatranje. Brzo su se uhodali u posmatranju, mada im je bilo teško objasniti da se meteori dozivaju pevanjem. Nakon prve posmatračke noći usledilo je upoznavanje sa obradom podataka i njihovom interpretacijom. Najvičniji polaznik je odmah za računanje ZHR-a napisao program u Paskalu.

Naš boravak u Višnjantu se završio par dana nakon početka VSA. Teška srca smo se oprostili sa svima i zaputili kući. No, što bi Korado rekao, "ultra-mega-super" saradnja tek ima da krene.

Inače, do sada su višnjanci objavili tj. poslali u MPC (*Minor Planet Centre*) oko 40 hiljada astrometrijskih merenja i otkrili oko 1400 novih asteroida (tačnije 1745 asteroida, ali nekih tristotinjak nisu ispratili do kraja, tj. "pobegli su im"). Pored ovoga, otkrili su i dve komete, promenljivu zvezdu tipa Mira Ceti, usavršili metodu praćenja asteroida (dokazali su da metoda MOID-Vaisala, koja je uglavnom korišćena za praćenje i izračunavanje orbitalnih karakteristika novootkrivenih asteroida nije najpouzdanija, i da se tako objekti veoma lako mogu "izgubiti"). Sredinom ove godine započeto je imenovanje asteroida otkrivenih na višnjanskoj opservatoriji, a među imenovanim asteroidima, od juna 2001. godine, nalaze se i Višjan – prema opservatoriji gde je otkriven i Poreč – prema teritoriji na kojoj je, kako sami kažu, iznikla opservatorija □

Međunarodna konferencija za meteore '97 – tri priče iz Petnice

Iako je sa astronomskog stanovišta bilo važnijih stvari, kao što su, na primer, pljuskovi Leonida, za nas je u proteklom periodu najznačajniji događaj ipak bila Međunarodna meteorska konferencija koja je od 25. do 28. septembra 1997. godine organizovana u Petnici. Sliku o ovom događaju predstavljamo kroz tri priče: priču Alistera Mekbeta (Alastair McBeath) iz Velike Britanije, člana Saveta Međunarodne meteorske organizacije, jednu fotografsku priču i priču člana PMG Vjere Miović, astrofizičara, tada studentkinje iz Beograda.

Alisterova priča

Poslednjih godina postala je tradicija da se učesnici iz jugoistočne Evrope late dugog i avanturičkog puta ne bi li prisustvovali nekoj međunarodnoj meteorskoj konferenciji (IMC). Ovoga puta smo pokušali da im izademo u susret, pa smo za mesto održavanja konferencije odabrali Jugoslaviju i Istraživačku stanicu Petnica koja se nalazi u blizini Valjeva, stotinak kilometara jugozapadno od glavnog grada Beograda. Posledica toga je bila da sam ja, kao neko ko dolazi iz Britanije, morao da pređem čak pet hiljada kilometara i prođem sedam zemalja. Od Nemačke sam pravio društvo Rajneru Arltu koji me je pozvao na zanimljivo putovanje preko Alpa. Vredelo je.

Petnica je izuzetno interesantno i priyatno mesto. Smatra se da je sa tragovima života tokom proteklih sedam hiljada godina, jedno od najduže stalno naseljenih područja u Evropi. Uz pećinu koja se nalazi u neposrednoj blizini Stanice nalaze se ostaci naselja iz neolitskog perioda.

U Valjevo smo doputovali ukad je sunce već potonulo za zapadna brda u veče 25. septembra. Verovatno u čast Međunarodne meteorske konferencije, ulična svetla u gradu nisu bila upaljena. U Stanicu smo prištigli neposredno pre večere u osam sati. Susret sa starim prijateljima i novim znancima bio je veoma prijatan. Srdačno časkanje odužilo se taman toliko da se večera ohladi. Mi koji dolazimo iz praktično muških meteorskih grupa sa zadovoljstvom smo konstatovali veliki broj zapanjujuće lepih mladih balkanskih dama, uglavnom iz Srbije i Bugarske. Bilo je prisutno puno mladih ljudi, što je dobar znak za evropsku meteorsku astronomiju.

U 9 sati uveče, Vigor Majić, direktor Istraživačke stanice Petnica, i Jirgen Rentel, predsednik Međunarodne meteorske organizacije (IMO), otvorili su konferenciju, a potom objavili da se služe besplatna pića. Uči-

onica se, sasvim razumljivo, brzo ispraznila. Nakon ovoga, Zirko Molau je prikazao video-film o ekspediciji članova nemačke meteorske grupe "Arbeitskreis Meteore" u Jordanu maja 1997. godine. Cilj njihove ekspedicije bio je posmatranje Eta-Akvarida i uspostavljanje saradnje sa tamošnjom meteroskom grupom. Potom su usledile diskusije i koje su se odužile do kasno u noć. Maglovito se sećam da sam pao u krevet i mentalno zaspao oko dva sata posle ponoći.

Naredni dan bio je ispunjen mnoštvom predavanja i radionica. I po-red toga našlo se vremena i za druženje sa zanimljivim ljudima. Njih je bilo iz cele Evrope i iz Japana, odakle je, kao i prethodne godine, stigao Nagatoši Nogami.

Bio sam budan već u sedam kako bih pripremio svoje izlaganje i izveštaj sa Novog Zelanda koji je poslao Grejem Volf koji, na žalost, nije bio u mogućnosti da prisustvuje ovoj konferenciji. Budući da sam sreo neke ljude, to sam do 9 sati, kada je počinjao doručak, jedva uspeo da završim svoj poster.

Uvodnu sesiju posvećenu posmatranjima Perseida u 1997. godini vodio je Feliks Betonvil. Jirgen i Rajner su izložili kratak pregled aktivnosti Perseida, uključujući preliminarnu analizu zasnovanu na uzorku od 25 hiljada viđenja meteora. Potom je Stefan Berinde iz Rumunije ukra-tko prezentovao njihova posmatranja, dok je njegov zemljak Valentin Grigore izvestio o tradicionalnom rumunskom tronodeljnom festivalu astronomije, zvanom *Perseide*.

Na pauzi smo se osvežili izvrsnom turskom kafom, inače tipičnom za Balkan. Tom prilikom smo Jirgren i ja postavili štand IMO-a. Feliks je nastavio da vodi i prepodnevnu sesiju koju je otvorio Zirko Molau iz-laganjem o evropskoj mreži za pomatanje bolida. Uz impresivne snimke bolida, objasnio je kako funkcioniše ova profesionalna mreža koja, uz podršku astronoma iz cele Evrope, postoji od 1959. godine. Budući da Genadij Andrejev sa univerziteta u Tomsku (Rusija), nažalost, nije mogao da prisustvuje konferenciji, Zirko je produžio svoje izlaganje. Potom je usledila moja prezentacija radio posmatranjima meteora tokom cele godine, zasnovana na podacima od 1993. do 1997. Izlaganje je trajalo ceo sat. S obzirom na značaj ovih posmatranja, prepodnevna sesija zavr-šena je brojnim pitanjima, a diskusija je nastavljena i nakon njenog ofici-jelnog završetka.

Zbog toga sam zakasnio na ručak. Međutim, to nije predstavljalo problem pošto je ovde hrane uvek bilo u izobilju. Imali smo jedinstvenu priliku da osetimo ukus prave jugoslovenske kuhinje. Za vreme ručka sam razgovarao sa belgijskim radio-ekspertom Žan-Mark Vislezom. Po-tom smo se pridružili Vesni Slavković, čije nam je šarmantno prisustvo omogućilo da proširimo priču na još jednu od mojih omiljenih tema – zmajeve. Tipično za meteorske konferencije – učesnici, pored meteora, lako nađu i druge zajedničke teme, pa je konverzacija uvek prijatna. Ina-če, Srbi odlično vladaju engleskim jezikom.

Popodne je održan sastanak Saveta Medunarodne meteorske organizacije. Oni koji nisu prisustvovali ovom sastanku imali su priliku da pogledaju izložene panoe. Među posterima su se nalazile i sjajne fotografije iz Bugarske i Rumunije, a rumunska izložba je sadržala i poeziju. Ova nova sredstva izražavanja primljena su sa oduševljenjem i izazvala su mnoge komentare. Tog popodneva bila je i video-prezentacija Hrvata o Koradu Korleviću.

Najvažnija odluka Saveta je bila da će naredni IMC biti održan u Slovačkoj od 20. do 23. avgusta 1998. godine, između dve profesionalne konferencije vezane za mala tela Sunčevog sistema. Osim toga, ustavljena je nova komisija (u 15:16 UT!) za koordinaciju video posmatranja meteora. Vodeći IMO ekspert u ovom polju, Zirko Molau, imenovan je za prvog predsednika komisije.

Od pet sati popodne konferencijom predsedava Mark Gisens. Tom prilikom Jirgren je izložio neke zanimljivosti vezane za aktivnost Eta-Akvarida 1997. godine. On se nadovezao na svoj članak u WGN-u (25:4), poredeći dobijene rezultate sa podacima iz dvadesetih godina XX veka. Peter Zimnikoval, jedan od organizatora sledeće Konferencije, razmatrao je probleme teleskopskih posmatranja meteora, uključivši i rezultate novijih eksperimenata sa posmatranja Perseida u Slovačkoj. Usledilo je izlaganje britanca Krisa Trejnera o automatizovanom beleženju vizuelnih posmatranja koje je izazvalo živu diskusiju.

Nakon kraće pauze, usledila je radionica o predstojećoj aktivnosti Leonida 1998. i 1999. godine koju su vodili Mark i Jirgen. Tom prilikom je Petra Rentel iznela detalje o klimi istočne Azije odakle se najbolje mogu videti Leonidi 1998. (istočni Sibir, Mongolija i Kina). Nikola Biliškov iz Hrvatske je, koristeći sopstveno iskustvo sa posmatranja na niskim temperaturama, dao neke predloge o organizovanju ovakvih posmatranja, dok nas je Daniel Očenaš iz Slovačke upoznao sa detaljima o prevozu u ovom regionu. Zaključio sam diskusiju podsećajući da bi trebalo obratiti pažnju i na Drakonide, koji bi u 1998. mogli da imaju visoku aktivnost.

Posle večere je usledilo završno izlaganje za taj dan. Veoma zabavno i priyatno predavanje, na temu meteorita, održala je profesorka Jelena Milogradov-Turin sa Matematičkog fakulteta u Beogradu. Predavanje je bilo dobro primljeno od strane publike i dobilo je najduže ovacije na celoj konferenciji.

Nakon kraće pauze, vratili smo se u učionicu na predstavu koju su nam pripremili Rumuni. Prvo smo odslušali smo snimke dve nagrađene pesme sa njihovog festivala *Perseide '97*, a potom su Andrej Dorian George i Gelu-Klaudiu Radu izveli komičnu dramu o meteorima. Na kraju su prikazali video snimke sa ovog festivala, kao i snimke impresivnih predela odakle vrše posmatranja. Razgovori i diskusije su nastavljene do kasno u noć.

27. septembra je osvanuo divan, sunčan i topao dan. Ja sam ustao u osam, pokušavajući, opet bezuspešno, da se pripremim pre no što se većina učesnika konferencije probudi. Posle doručka, čiji je jedini nedostatak bila kafa (posebno turska), toliko neophodna svakom iz severne Evrope da otpočne novi dan, Cis Verbek iz Belgije je preuzeo vođenje konferencije. Prvo je Zirkо dao izveštaj o posećenosti sajta Međunarodne meteorske organizacije, što je veoma ohrabrilo saradnike ovih stranica. Potom smo Andrej Dorian i ja održali predavanje o meteorima u rumunskoj mitologiji.

Onda-ah!-kafa. Sada sam, razbuđen i uzbuden, bio u stanju da preuzmem vođenje konferencije. Andre Knefl je izneo sveže rezultate sa kombinovanih video i radarskih posmatranja meteora koje je Detlef Košni prvi opisao na prethodnoj konferenciji (Detlef na žalost nije prisustvao ovoj konferenciji). Prvi pokušaji deluju ohrabrujuće i postoje izgledi da će sistem ubuduće davati još vrednije podatke. Kris Trejner je takođe prezentovao neke nove detalje, dobijene samo nekoliko dana pre Konferencije, koji su vezani za njegov rad na Hjuovim transformacijama u automatskoj video opremi.

Posle ručka je usledio izlet do malog manastira smeštenog u jednoj mirnoj dolini. Nakon toga smo otišli na obližnje planine da bi videli jedno od jugoslovenskih posmatračkih mesta. Tamo smo bili posluženi pićem. Odličnom šljivovicom nazdravili smo jedni drugima, a i divnom pogledu. Šljivovicu treba nasuti više puta da bi se u njoj uživalo u potpunosti!

U Petnici smo posle večere imali godišnju skupštinu Međunarodne meteorske organizacije sa uobičajenim izveštajima o aktivnostima i vestima sa sastanka Saveta. Odlučeno je da Pola Rogemansa koji se povukao sa funkcije sekretara IMO za Sjedinjene države, zameni Bob Lansford. Nakon skupštine usledila je video-prezentacija italijanske grupe koja je istakla kandidaturu za domaćina konferencije u 1999. godini. Hrvati su prikazali slajd-šou o poseti Slovencičkim Alpima. Nesumnjivo najbolje je bio primljen komični skeč dva mlada Bugarina, Ivana Gradinarova i Galina Genčeva. Oni su obradili probleme oblačnih noći i konzumiranja alkohola koji ih prati. Predstavili su nam sjajan izum, "trinokular", koji se sastoji od tri flaše piva zapepljene jedna za drugu, tako da posmatrač može biti siguran da će imati zanimljivo nebo za posmatranje, a u isto vreme i tečno osveženje. Odgovori na pitanja koja su usledila bili su izvanredni, kao i celokupna parodija prezentacije naučnog rada.

Poslednje veče se na meteorskim konferencijama obično organizuje žurka, pa većina ljudi ostaje budna do jutra. Slično je bilo i ovog puta. U tri sata po ponoći zalihe pića su bile iscrpljene, kao i većina ljudi, pa je dobar broj učesnika odlučio da tada završi noć. Nas nekoliko smo ipak ostali i pričali o raznim stvarima. Dok je sunce rumenilo subotnje jutro, samo smo nas petoro bili budni – Tijana, Vesna, Cis, Žan-Mark i ja. Iako

smo tada odlučili da uhvatimo malo sna, ja sam shvatio da nema svrhe ići na spavanje, pošto sam znao da će morati da ustanem za nepun sat.

Nakon doručka (koji je bio propraćen komentarima ljudi koji su bili iznenadeni saznavši da te noći uopšte nisam spavao), usledila je poslednja sesija na Konferenciji okviru koje su bila samo dva izlaganja. Ovu sesiju je vodio Rajner. Prvo je Valentin Grigore govorio o idealnim uslovima za posmatranje Perseida za mladog Meseca u vreme još jednog zanimljivog događaja – pomračenja Sunca koje će najduže trajati baš u Rumuniji. Onda sam zaključio deo posvećen predavanjima izveštajem o Novozelandskom bolidu. Primetio sam da, od nas petoro koji smo ostali budni do zore, jedino ja prisustvujem predavanju!

Zbog dugog puta koji nas je čekao, nas nekoliko (Rajner i ja, kao i Mihaela Triglav i Jože Prudič koji su putovali sa nama od Ljubljane) moralali smo da krenemo pre ručka i ceremonije zatvaranja, pa smo se teška srca oprostili sa starim i novim prijateljima. Napustili smo Petnicu u podne. Put je u povratku izgledao mnogo kraći pošto su nam misli bile okupirane svime što se dešavalо. Meni su naredili da sednem na zadnje sedište i odspavam. Pametna ideja, ali sam mogao da je sprovedem u delo samo na kratko, pošto je imalo još dosta toga da se vidi.

Izuzetno sam zahvalan Rajneru na ljubaznosti i gostoprимству, kao i za to što mi je pružio šansu da putujem sa njim; Jirgrenu i Ini Rentel za podršku i pomoć, a Jirgrenu još i na njegovom gostoprимstvu u Nemačkoj; našim saputnicima Joži Prudiču i Mihaeli Triglav na društvu i pomoći na putu kroz Jugoslaviju, kao i Jožinim roditeljima na gostoprимstvu; organizatorima IMC-a, posebno Vladi Lukiću (koji nažalost nije bio u mogućnosti da nam se pridruži) i Dragani Okolić, za sav njihov trud pre i za vreme Konferencije, što su se pobrinuli da sve prođe gлатко; našim domaćinima u Istraživačkoj stanici Petnica; i na kraju, svim jugoslovenskim učesnicima na njihovom prijateljstvu i pomoći. Iskreno se nadam da neće proteći mnogo vremena pre još jednog IMC-a u Jugoslaviji. Radujem se ovome kao i narednoj konferenciji u Slovačkoj. Ako niste ranije bili na IMC-u, moje jedino pitanje jeste – zašto?

Alastair McBeath

WGN, Vol. 25, No. 6, decembar 1997.

Prevela Ana Milovanović

Foto priča – na umetnutim listovima

Vjerina priča

Nismo morali da biramo koje će dvoje ili troje da prisustvuju konferenciji – ovog puta svi smo bili domaćini. Gosti su tako i dočekani, domaćinski – uz meze, kaficu i nezaobilaznu rakiju. Organizacija na solidnom nivou (ne kažem “zavidnom”, jer su izostali dragačevski trubači), bez frke i panike, sve je teklo po planu. Sedamdesetak ljudi, žena i dece iz Nemačke, Holandije, Belgije, Engleske, Italije, Slovenije, Hrvatske, Bugarske, Rumunije, Slovačke, Japana(!) i naravno, Jugoslavije, okupilo se da saznaju šta je novo među meteorima, a isto tako i da pročaskaju o raznim drugim temama sa onima koje privlači prva. Nama, novijim posmatračima i IMC-debitantima, Dragana je (sa karakterističnim smeškom) govorila da se rastrčimo i uspostavljamo kontakte, jer se nikad ne zna kad nam može zatrebatи neka vezica iz dalekog sveta.

Vreme koje nije predviđeno za predavanja provodili smo u socijalizovanju sa gostima, najčešće po stepenicama i holu petničkog nastavnog centra (potpisnik ovih redova je pri tom pokušavala da iskoristi neki trenutak da se zavuče u računski centar i spremi ispit za uslov, naravno, uz nadljudske napore volje, jer sve je bilo mnogo zanimljivije od teorije algoritama i naredbi PASCAL-a, al’ kad se ne može na više mesta istovremeno...). Tako smo od Japanca saznali da se bavi haikuom i iz nekih predstavnika ove vrste poezije naučili po koju reč jezika izlazećeg sunca. Valentin Velkov je pokazao svoje gitarsko umeće, pa smo mogli da čujemo kako se bugarske narodne pesme i ne razlikuju toliko od naših. Rumuni su nas obasipali svojim mitološkim crtežima, pričama i poezijom vezanom za meteore, a čak su izveli i nekoliko *zgodnih i prigodnih* skečeva.

Ovaj IMC je inače protekao u znaku Rumunije. Oni su svojim izlaganjima bili zastupljeni svakog dana konferencije, a već pri otvaranju su nekolicini učesnika podelili knjižice svoje astro-meteorske poezije. Vašem izveštalu, koja je kao konferencijski početnik očekivala da jedna takva manifestacija bude stroga i ozbiljna, mora se priznati, sve to je u početku delovalo jako zanimljivo, ali kako je vreme odmicalo, konferencija je, bez uvrede, pretila da preraste u skup mitoloških priča i uglavnom loše poezije (čast izuzecima – bilo je tu i odličnih pesama). Dobili smo i iscrpan izveštaj o rumunskoj posmatračkoj grupi, propraćen video prezentacijom u petak, 26. uveče, o posmatranju Perseida '97. u predvremenim planinskim predelima ove zemlje (inače, od njih smo dobili poziv i za Perseide '99, u vreme totalnog pomračenja Sunca, koje je 11. avgusta najduže trajalo baš u srcu Rumunije). U isto vreme bila je u toku radiionica koja se pozabavila pitanjem Leonida '98. i odakle ih je najbolje posmatrati, jer se očekuje veliki pljusak, ali vam o detaljima iste ne mogu mnogo reći, zbog boravka na već pomenutoj video prezentaciji.

Prvo predavanje na IMC-u bilo je posvećeno analizi aktivnosti Perseida 1997, za koju priliku su nam Rainer Arlt i Jirgen Rentel izneli rezultate dobijene sakupljanjem podataka od posmatrača iz 25 različitih zemalja. Osim dva već poznata maksimuma aktivnosti Perseida (na longitudama Sunca od 139.72 i 140.0 stepeni), obradom podataka došlo se do još jednog "pika" pri longitudi od 140.32 stepena.

Predstavnici naših novijih suseda – Hrvatske, i članovi PPPS-DOK-a (nemojte mi reći da niste čuli za višnjansku Posmatračko Planinarsko Pustolovnu Skupinu – Daleko od Konja!?!), Nikola i Goran, usadili su nam ideju o dočeku toliko najavlјivanog pljuska Leonida na, prema proračunima povolnoj strani planete – u Mongoliji! Ideja fenomenalna, samo preskupa za naše pojmove, znači – treba se rastrčati i juriti sponzore. Većina nas, sem časnih izuzetaka, ostadosmo na željama, dok se Hrvati lepo snadoše i dobro organizovaše. Čak su i žurku pre odlaska u Mongoliju pravili. Inače, na IMC-u su predstavili Korada Korlevića i njegovu školu i opservatoriju u Višnjanu, Istra, koja okuplja mlade i talentovane ljude željne bavljenja naukom više nego što im to pruža klasično školovanje. Nešto kao hrvatska varijanta Petnice.

Prof. dr Jelena Milogradov-Turin podsetila nas je na za sada jedine vanzemaljce na našoj planeti – meteorite i, naravno, budući iskusni i dobar predavač, pobrala najviše aplauza.

Zirko Molau, glavni čova za IMO na Internetu, pripremio je razne statistike o pristupu IMO Web stranicama, i dobijenim podacima nas razbudio u subotnje jutro. On nas je predhodnog dana već uputio u rad *European Fireball Network* (EN), koja prati nebo nad Evropom svake noći sa 22 nemačke i 16 čeških stanica opremljenih *all-sky* kamerama i *fish-eye* sočivima u cilju snimanja, pogadate, bolida. Od osnivanja daleke '63, kad mnogi od nas nisu bili ni u razmišljanjima svojih roditelja, snimljeno je nekoliko stotina bolida, i samo jedan pad meteorita. EN nas informiše o populaciji meteoroida u blizini Zemlje, a matematička obrada fotografija bolida bi trebalo da da više podataka o orbitama i osobinama meteoritskog materijala. Mi o bolidima, a bolid iznad Novog Zelanda. Viđen je 13. juna '97. a magnituda mu se procenjuje na neverovatnih -15! Priču o ovom događaju i medijskoj frci koju je prouzrokovao (obično se pred kraj veka priča o smaku sveta i velikim katastrofama, a još ako se sve može začiniti stvarnim dogadajem...) ispričao je, u ime Grejema Vulfa, Alistera Mekbet pred samo zatvaranje IMC-a (šta li je to trebalo da govori?).

Englez Kris Treiner se pozabavio automatskom detekcijom meteora na CCD snimku. Koristio je Hjuove (Hough) transformacije kao mehanizam za nalaženje pravih linija na snimku, a da bi se prave (ili delovi pravih na sukcesivnim frejmovima snimka) koje predstavljaju meteore razlikovale od drugih koje predstavljaju avione, satelite i slične pokretne objekte, koristio je "time-gradient" transformacije da bi odredio brzinu

(u stepenima po sekundi) kretanja tih delića pravih na snimku. Meteori će, naravno, imati veće brzine od ostalih objekata.

On je smislio i jednu elektronsku olakšicu za vizuelne posmatrače po sistemu: zašto jednostavno, kad može komplikovano. Zamisao je da ukupno vreme posmatranja bude jednako efektivnom (ako u međuvremenu ne zaspis), tako što se oba oka upere u nebo, a svih deset prstića drži na deset dugmića (svaki ima posebnu funkciju) koji su preko dve kutijice žicama povezani za PC, tako da podaci, kao što su: vreme, magnituda, pripadnost roju i drugi, odmah ulaze u računar. Jedina prednost ove skalamerije koju ja vidim u odnosu na stari, dobri diktafon, je u tome što ne moraš da trošiš dragoceno vreme gledanja na sat u toku kojega može svašta da ti promakne (pa i poneki cigaretid). A ako nemaš laptop, prisustvo PC-ja znači blizinu zgrade (osim ako ne produžiš žice), što praktično otpisuje pola neba, i džaba ti oči uperene na gore...

Krisov zemljak, Alister Mekbet, sakupio je od dvadesetak posmatrača rezultate radio posmatranja meteora iz 1996/97. godine. Ideja mu je bila da, između ostalog, pokuša sa identifikacijom mogućih rojeva putem radio posmatranja.

Iako su η-Akvaridi najaktivniji roj vidljiv sa južne hemisfere, prilikom povratka ovih (ne)otpisanih meteora 1997, naši posmatrači su pokazali izuzetnu aktivnost u toku aktivnosti ovog aktivnog roja. Analizu podataka za η-Akvaride na IMC-u nam je predstavio Jirgren Rentel, a Peter Zimnikoval iz Slovačke je odmah zatim u svom izlaganju opisao jednu "ekspediciju" posmatranja Perseida u tadašnjoj Čehoslovačkoj 1986. godine. Posmatralo se vizuelno i teleskopski, pri čemu je postavljen sistem od 58 teleskopskih polja usmerenih oko radijanta. Problemi su nastali prilikom obrade podataka, jer su u to vreme koristili džepni kalkulator, uz snimanje podataka na traku. Možete samo da zamišljate mukotrpan rad unošenja podataka u "digitron", a tek kad vas zadesi miler, pa vam se skoro svi podaci unište, onda se verovatno iznervirate i zaboravite na obradu podataka. Ne i Slovaci. Podaci iz '86-te (ono što je od njih ostalo) čekali su do '97, kada su kompjuterski obrađeni i predstavljeni na IMC-u.

Dan pre zatvaranja konferencije, jedne tmurne subote (27. septembra), predstavljen je i eksperiment istovremenog posmatranja meteora video i radarskom tehnikom. Andre Knefel i saradnici su postavili kameru za posmatranje meteora na oko 35 km udaljenosti od SOUSY (*Sounding System*) radara, i simultano ih uperili da "gledaju" u isti deo atmosfere, gde se očekuje najviše meteora iz posmatranog roja. Opisali su eksperiment i dali prve rezultate sa Geminida '96, kao i sa akcije Perseida '97, gde su imali bolje uslove i više efektivnog vremena snimanja.

Ekskurziji na Debelo Brdo vaš izveštac nije prisustvovala, jer prethodne večeri nije ukucala neka imena u tabelu, a kakve sve to veze ima, nije ni bitno. Ko je bio, lepo se proveo, a ko nije, ne mora ni da zna

kako je bilo. I još jedan detalj koji spada pod trač rubriku: Eva Božurova je na IMC-u bespovratno izgubila svoje cipele.

U ta tri dana uspostavila su se nova poznanstva i prijateljstva, i obnovila stara. Pred polazak smo prošetali do petničke pećine sa Englezima (kojima nikad nije bilo hladno) i Belgijancima, ali se niko nije setio da ponese baterijsku lampu. Da mi je neko pričao, ne bih verovala da mrak može da bude toliko dubok i pored širom otvorenih očiju.

Pozdravljanje s Jožetom Prudičem, ne znajući da je i poslednje viđenje, proteklo je uz obećanje da će nam doći za Novu Godinu.

Ovo, naravno, nije sve što se moglo čuti i videti na IMC '97, ali nije mi ni bila namera da objektivno i nepristrasno prenosim činjenice, a koga zanimaju detalji radova prezentovanih na konferenciji, neka potraži Proceedings IMC '97. Primerak se može naći u petničkoj biblioteci.

A kako je odlučeno pretposlednjeg dana konferencije na 9. generalnoj skupštini IMO, naredni IMC je održan u Slovačkoj. Naime, tu su već ranije bile planirane dve konferencije profesionalnih astronomova o malim telima sunčevog sistema za *avgust* 1998, pa su se tako amateri mogli, ako ništa drugo, a ono bar fizički približiti profesionalcima.

Vjera Miović

Hronika PMG

Pregled osnovnih aktivnosti Petničke meteorske grupe i dograđaja vezanih za njen rad u proteklih pet godina, proistekao iz (pri)beleški više hroničara. Beleške su pisane u različitim periodima aktivnosti i fazama, kako grupe, tako i hroničara.

1997.

Varna. Godina je počela učešćem na konferenciji mlađih astronomova u Varni (Bugarska). Prezentovani su radovi i vođeni razgovori o predstojećoj saradnji.

Liridi. Nebo nad Petnicom oblačno. Prilika da se srede ranije sakupljeni podaci.

Pegazidi. Šest posmatrača u Petnici od 9. do 13. jula. Dve vedre noći.

Akvaridi i Alfa-Kaprikornidi. Na Debelom Brdu od 27. jula do 2. avgusta desetak posmatrača je pratilo fotografski i ucrtavanjem meteorske rojeve iz kompleksa Akvarida i Alfa Kaprikornide. Vedro nebo i povoljni uslovi za posmatranje. Posetili su nas Holanđani. Lukićeva poslednja akcija pred odlazak na studije u Ameriku.

Bela Crkva. potraga za meteoritom među nepreglednim suncokretima. Početkom avgusta neko je astronomskoj opservatoriji u Beogradu javio da je blizu banatske Bele Crkve video nešto bi moglo da liči na pad meteorita. Otišli smo da ispitamo stvar. Od očevidaca smo dobijali oskudne podatke, uglavnom vezane za pravac pojave. Kasnije smo saznali da su prethodnog dana vojnici polagali zakletvu. Praznih šaka i podeljeni u dva tabora – one koji veruju u meteorit i druge skeptične, vratili smo se nazad. Tugu smo gasili u kovinskom bostanu.

Perseidi. Petnaest, mahom novih, posmatrača na debelom Brdu od 7. do 14. avgusta, četiri posmatrača na Javorniku sa slovenačkim meteo rašima i jedan na Hrvatskom primorju sa PPPS DOK-om.

IMC u Petnici. Dogadjaj godine je bila Međunarodna meteorska konferencija (IMC) u Petnici od 25. do 28. septembra. Bilo je oko sedamdeset učesnika, uglavnom iz Evrope. Celodnevna astronomска izlaganja smenjivala su druženja uz gitare. Dosta novih kontakata, razmena iskustava i dogовори о saradnji.

Drakonidi. 9. oktobra u Petnici organizovana su posmatranja u cilju praćenja aktivnosti Drakonida (Đakobinida). Naime, zbog prolaska komete 21P/Giacobini-Zinner u 1998. godini kroz perihel, postojala je mogućnost povećane aktivnosti meteora koji potiču od ove komete. Nikakva aktivnost nije konstatovana. Počeli smo da planiramo radio posmatranja.

Orionidi. Šesnaest posmatrača u Petnici od 18. do 22. oktobra. Dve vedre noći. Dogovorali smo se o dugoročnjem planiranju svojih aktivnosti. Nova ideja - svaki član grupe dobija temu na kojoj će raditi.

Leonidi. Meteore smo lovili između oblaka, a sanjali kišu (meteora) koja treba da usledi za godinu dana. Osim Petnice, zahvaljujući ljudima iz Republičkog hidrometeorološkog zavoda, posmatrali smo uporedno i sa Kameničkog Visa kod Niša, gde je posmatranja organizovalo niško Astronomsko društvo "Alfa".

Jože. U Ljubljani 2. decembra u saobraćajnoj nesreći poginuo Jože Prudič. Izgubili smo velikog prijatelja i bliskog saradnika. Jože je učestvovao na nekoliko naših meteorskih kampova. Krajem osamdesetih bio je polaznik i petničkih obrazovnih seminarata.

Grenland. U južnim oblastima Grenlanda 9. decembra pao je meteorit. Pad je konstatovan na satelitskim snimcima i potvrđen svedočenjima očevidaca. U julu i avgustu sledeće godine Danci su organizovali ekspediciju pod nazivom (kako bi drugačije) "Tiho Brahe '98". Prikupili su materijal za geochemijske analize, ali mesto pada nisu ustanovili. Pretpostavlja se da se meteorit, krećući se brzinom od oko 25 km/s rasprisnuo na dvadesetak delova koji su se rasuli po snegu i ledu na površini od 50 do 100 kvadratnih kilometara.

1998.

Kvadrantidi. Bilo je oblačno nad Sutomorem gde se većina nas okupila da dočeka Novu godinu i proprati aktivnost Kvadrantida. Donekle vedro u Petnici.

Yagi. U februaru Irena Živković i Marija Vucelja napravile Yagi antenu sa maksimumom osetljivosti na 66 MHz.

Jugoistok. April, XXIV nacionalna konferencija mladih astronoma u Varni. Upoznali smo se sa Makedoncima i razgovarali sa Bugarima i Turcima o zajedničkim posmatranjima predstojećeg potpunog pomračenja Sunca (11. avgust 1999).

Liridi. U periodu od 18. do 23. aprila, organizovana posmatranja na tri lokacije – Petnici, Debelom Brdu i Medvedniku. Na Debelom Brdu upoznavali smo mlade astronome iz Društva istraživača "Vladimir Mandić Manda" sa metodama posmatranja. Loših vremenski uslovi – samo jedna posmatračka noć na Medvedniku, gde je bilo jedanaest posmatrača.

Eta-Akvaridi. Loše vreme u Petnici i na Divčibarima.

Junski Botidi. Neočekivano velika aktivnost ovog roja. Prema rezultatima, uglavnom iz Bugarske, ZHR je u maksimumu (27. juna) iznosio oko 100. Velika aktivnost zabeležena je 1916. (oko 50), 1921. i 1927. godine (oko 150). Najverovatnije objašnjenje za velike promene u aktivnosti roja je uticaj Jupitera na orbitu matične komete Pons-Vineke. Analiza orbitalnih elemenata ove komete iz Jupiterove familije ukazuje da sada viđeni materijal potiče iz prve polovine ovog veka.

Šumaher. 18. jula umro Eugen Šumaher, čuveni stručnjak za mala tela Sunčevog sistema. Otkriće komete Šumaher-Levi marta 1993. godine i prognoza da će se, pod dejstvom Jupiterovih plimskih sila, raspasti 13 meseci nakon otkrića, učinili su ga široko poznatim i van astronomskih krugova. U odnosu na to šta je uradio u nauci, ovo otkriće predstavlja samo vrh ledenog brega.

Akvaridi i Alfa-Kaprikornidi. Posmatranja su vršena vizuelno i fotografiski sa Debelog Brda, ali i sa Javornika, gde su naši gostovali na slovenačkom meteorskom kampu "PAMET '98".

Perseidi i Kapa-Cignidi. U periodu od 27. jula do 18. avgusta na Debeldom Brdu i u Petnici organizovana su posmatranja Perseida i Kapa-Cignida. Posmatrano je vizuelno i fotografiski. Bilo je puno novih lica (dvadesetak), ali, zbog loših posmatračkih uslova, malo meteora.

Slovačka. Međunarodna meteorska konferencija (IMC) u Staroj Lesni od 20 do 23. avgusta bila je u konjukciji sa dve profesionalne konferencije o meteorodima i kometama. Dobra prilika za diskutovanje rezultata i projekata pred širom publikom. Nas je predstavljala Dragana Okolić.

Drakonidi. 8. oktobra očekovani pljusak Drakonida (Đakobinida) poranio je četiri sata. Umesto u 17:30 (po UT), radarskim posmatranjima u Onžejovu (Češka) zabeležen je pik u 13:10. Prema vizuelnim podacima japanskih posmatrača ZHR se kretao od 300 do 500, približno kao 1985. godine, prilikom prethodnog prolaska matične komete Đakobi-Ciner. Mi smo posmatranja organizovali u Petnici i na Debeldom Brdu. Ni vreme nas nije poslužilo.

Leonidi. Nema granica za naše posmatrače. Leonide smo posmatrali od 14. do 19. novembra iz Južne Koreje, Mongolije, sa Kameničkog Visa i iz Petnice. Ispostavilo se da je pljusak poranio. Zemlja je naletela na starije čestice, koje su bile krupnije i sjajnije. Populacioni indeks veoma je varirao – od uobičajenih 2.5 do čak 1.2 za vreme maksimuma. Suprotно predviđanjima, vreme maksimuma je išlo na ruku onima koji su posmatrali iz Evrope i istočnih obala Amerike. Zbog oblačnog vremena iz naše zemlje maksimum su registrovali samo posmatrači sa Kameničkog Visa kod Niša. Usrednjeni ZHR je te noći imao vrednost 320 ± 20 ("Sekulin pik"). Grupa koja je posmatrala iz Koreje zabeležila je

Holandsko-jugoslovenska ekipa u Južnoj Koreji.

S leva na desno:
Urijan Poernik, Anne van Weerden, Felix Bettonvil, Dragana Okolić i Vladimir Lukić



ZHR od 121 ± 4 . "Mongolskoj" ekipi je bilo hladno za vizuelna posmatranja (-30°C), pa su se odlučili samo za foto i video varijantu, dok je nad Petnicom bilo vedro samo pre i posle maksimuma.

Geminidi. Samo jedna vedra noć i nad Kameničkim Visom i nad Petnicom.

1999.

Kvadrantidi. U Petnici smo čekali Kvadrantide, a dočekali samo Novu godinu.

Proleće. Posmatračka godina je počela sa Liridima. Više od meteora padali su projektili. Za Eta-Akvaride slična situacija. Članovi PMG-a su uglavnom posmatrali od svojih kuća, a dvojica iz Petnice.

Bolid? U sutor 31. jula mnoštvo žitelja (uglavnom zapadne) Srbije bili su očevici prolaska sjajne usijane kugle, veličine punog meseca. Stanovnici Loznice i okoline su nakon toga čuli i potmule eksplozije u pravcu Majevice. Tokom sledećih mesec dana načinjeno je preko dvadeset intervjuja sa očevicima, urađene su skice na osnovu opisa i okvirno rekonstruisana trajektorija. Na petnaestak mesta postavljene su lepljive klopke za (eventualno) hvatanje meteorskog praha.

Perseidi. U senci pomračenja Sunca, Perseidi su posmatrani od 6. do 14. avgusta sa više lokacija: Kelebija (jedanaest posmatrača), Horgoš, Kamen Brdag u Bugarskoj (šest posmatrača), Subotica (jedan posmatrač). Kamp na Kelebiji su organizovali Mladi istraživači Subotice, a gostovali su Društvo istraživača Vladimir Mandić Manda iz Valjeva i AD "Alfa" iz Niša. Uglavnom je bilo vedro. U Horgošu su kamp povodom pomračenja organizovale ISP i Astronomski opservatorija u Beogradu. Kamp u Kamen Brdagu na obali Crnog mora, na centralnoj liniji pomračenja, organizovala je Narodna opservatorija "Nikola Kopernik" iz Varne sa kojom redovno održavamo kontakte.

Italija. IMC 1999. godine održan je od 23. do 26. septembra u mestu Fraso Sabino (Italija). Od naših su na sa svojim radovima učestvovali Saša Nedeljković i Dragan Milisavljević, a svoj članak na Konferenciju su poslale i Marija Vučelja i Irena Živković.

Očekivanje Linearida. U septembru je kroz perihel prošla kometa Linear C/1999J3. Kako se 11. novembra Zemlja približavala orbiti ove komete na "samo" 0.11 AU, to su organizovana patrolna posmatranja ne bi li se konstatovao materijal koji potiče od nje. U Petnici je bilo oblačno, a rezultati posmatranja u svetu nisu ukazala na meteore koji bi poticali od ove komete.

Leonidi. Pljusak meteora nad Evropom. Konstatovana je aktivnost od nekoliko hiljada meteora na sat. Mi smo organizovali posmatranja u Petnici, Kameničkom Visu i Sremčici, ali smo gledali samo oblake nad sobom.

2000.

Kvadrantidi. Posmatrano samo iz Petnice i to na noć maksimuma (2/3. januara). Na drugom podmatračkom punktu, u primorju, nebo je odlučilo da ne prekida novogodišnje slavlje. Bilo je oblačno.

Perseidi. Perseidi su posmatrani od 8. do 13. avgusta sa Debelog Brda vizuelno i fotografiski. Posmatranja su organizovana zajedno sa Astronomskom grupom Društva istraživača "V. M. Manda" iz Valjeva (ukupno 23 posmatrača). Bilo je začuđujuće vedro. Održana je serija predavanja kojom je dat presek kroz meteorsku astronomiju, prvenstveno sa stanovišta nama dostupnih metoda posmatranja. Predavači su bili: Marija Vučelja, Vladimir Lukić i Branislav Savić.



Jedno od predavanja iz kursa meteorske astronomije na Debelom Brdu (avgust 2000)

IMC 2000. Konferenciji Međunarodne meteorske organizacije, iako je bila u komšiliku (Rumunija), od naših prisustvovala jedino Irena Živković iz Niša. Za svoj groš.

Orionidi. Posmatranja su organizovana od 19. do 24. oktobra na tri lokacije: Divčibarama, Debelom Brdu i Petnici. Ukupno tridesetak posmatrača, od kojih većina iz "Mande". Tri posmatračke noći.

Leonidi. Leonidi su posmatrani od 15. do 19. novembra sa Debelog Brda. Noći su bile prilično oblačne i maglovite, kao i nad većim delom Evrope. Mi smo imali svega dva kratka posmatranja, od kojih jedno za vreme maksimuma. Sva neistrošena energija usredsređena je na šetnje po Valjevskim planinama.

Geminidi. Geminidi su snimani fotografiski od 11. do 15. decembra uporedno iz Petnice i Leskovica. Po hladnom i često mutnom vremenu smrzavalо se četvoro posmatrača.

2001.

Liridi. Rain, rain, shower, shower, rain... Uprkos vremenskim uslovima, koje su meteorolozi nepogrešivo predvideli, članovi PMG-a su posmatrali Liride. Ostatak vremena utrošen na obrađivanje materijala.

Maj. Umesto kampa za posmatranje Eta-akvarida u Petnici od 8. do 13. maja orgaizovana kraća radionica za sređivanje ranijih podataka, koncipiranje sajta Petničke meteorske grupe i sređivanje materijala za ovaj magazin.

Junski Bootidi. Od 26. juna do 2. jula u Petnici organizovan kamp u cilju praćenja aktivnosti junskih bootida. Nije konstatovana nikakva uočljiva aktivnost ovog roja. Težište rada je bilo na obuci novih ljudi, mahom iz Mandine Astronomske grupe, za sređivanje rezultata posmatranja. Posebna pažnja posvećena je statističkoj obradi podataka, određivanju populacionog indeksa i metodanma za procenu granične magnitude. Osmoro učesnika.

Perseidi i Kapa-cignidi. Od 8. do 23. avgusta u Petnici i na Debelom brdu organizovan kamp za posmatranje Perseida i Kapa-Cignida. U periodu od 8. do 15. avgusta na Debelom brdu posmatranja su realizovana zajedno sa Astronomskom grupom Društva istraživača "Vladimir Mandić – Manda" i članovima Astronomskog društva "Alfa" iz Niš. Ukupno dvadesetak posmatrača. Iako je mesec bio u nepovoljnoj fazi, prilično povoljni atmosferski uslovi omogućili su solidna posmatranja.

Bugarska. Nikola Milutinović (sa Kaćom Topalov) letovanje u Bugarskoj iskoristio za časkanja i dogovore o saradnji na planu posmatranja meteora i astrometrije asteroida. Vreme je da sa Bugarima počnemo ozbiljnije da sarađujemo.

IMC 2001. Oko nas konferencije – a mi nikud da mrdnemo. Ove godine Slovenija. Izgleda da su ove stvari postale preskupe za nas. Opet samo Irena, saznajemo iz međunarodnih izvora.

Orionidi. 19-23. oktobar – Petnica, Debelo Brdo i Leskovice. Uporedo vizuelna i fotografска posmatranja. Dobro je "pokrivena" jedina čista noć (20/21. oktobra) kada su vremenski uslovi dozvolili posmatranja. Deset učesnika u posmatranjima i snimanjima, od čega šest vizuelnih posmatrača. Priprema sadržaja za ovaj časopis.

Leonidi. 15-22. novembar – Petnica i Debelo Brdo. Vremenski uslovi omogućili su dve, sa posmatračkog stanovišta prilično uspešne noći u vreme maksimumâ: 17/18 i 18/19 novembra. Naime, promenljivost atmosferskih uslova (uobičajena za ovo doba godine) prilično je kompenzovana uporednim posmatranjima sa dva, klimatski različita punkta. Na taj način su vizuelnim posmatranjima u potpunosti pokrivene ove dve noći. Dvanaest učesnika – preliminarna obrada rezultata posmatranja Leonida i završna obrada za preostala (neobrađena) vizuelna posmatranja. A Ana Spasojević (Niš) uspela je da sebi priušti posmatranja iz Amerike koja je ove godine, u odnosu na Evropu, bila povoljnije izložena strujama materijala ostalim iza komete Tempel-Tatl□