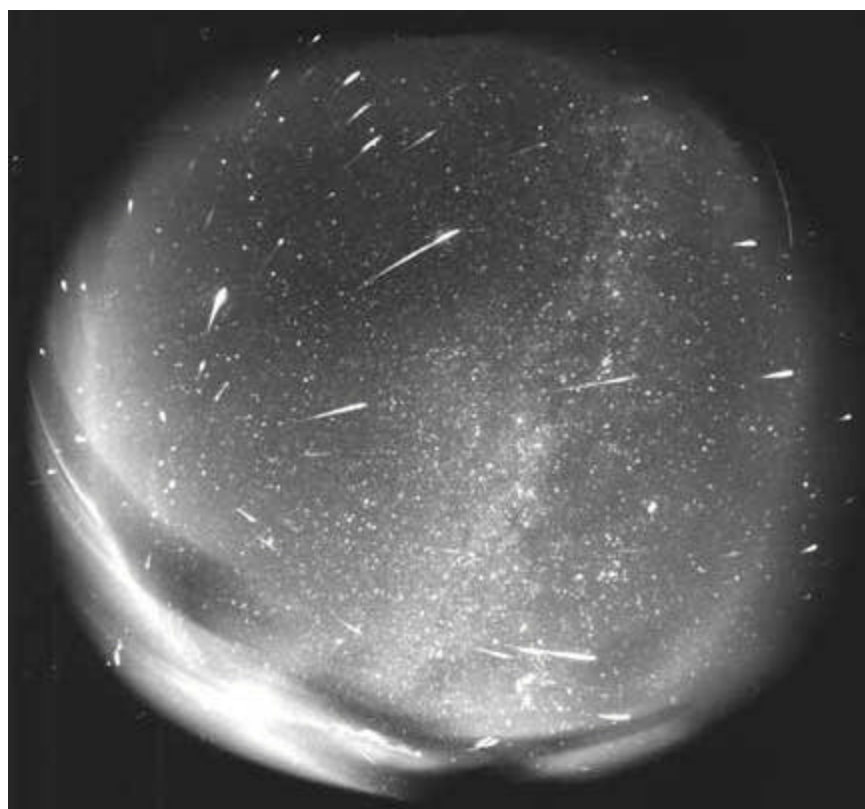


Nikola Biliškov

**PRIRUCNIK ZA
VIZUALNO PROMATRANJE METEORA**

Prvo izdanje



Zvezdarnica Višnjan

Višnjan 1999.

Sadržaj

| | |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Predgovor..... | 1 |
| Meteoroidi i njihova evolucija..... | 2 |
| Evolucija meteoroida..... | 2 |
| Kemijski sastav i grada meteoroida..... | 4 |
| Što su meteori?..... | 6 |
| Meteorski potoci..... | 6 |
| Period aktivnosti meteorskog potoka..... | 8 |
| Vatrene kugle..... | 9 |
| Promatranje meteora..... | 9 |
| Pripema za promatranje..... | 10 |
| Promatranje meteora..... | 12 |
| Procjena sjaja meteora i određivanje granicne magnitude..... | 13 |
| Što uciniti kad se pojavi meteor..... | 15 |
| Trajanje promatranja..... | 15 |
| Ucrtavanje meteora..... | 16 |
| Promatranje meteora u uvjetima vrlo velikih aktivnosti..... | 16 |
| Poslije promatranja..... | 18 |
| Popunjavanje formulara za vizualna promatranja..... | 19 |
| Osnove analize aktivnosti meteorskih potoka..... | 20 |
| Racunanje zenitne satne frekvencije (ZHR-a)..... | 20 |
| Racunanje populacijskog indeksa (r)..... | 22 |
| Osnovni podaci o najaktivnijim godišnjim potocima..... | 23 |
| Kvadrantidi (QUA)..... | 23 |
| Liridi (LYR)..... | 23 |
| Perzeidi (PER)..... | 24 |
| Orionidi (ORI)..... | 25 |
| Leonidi (LEO)..... | 26 |
| Geminidi (GEM)..... | 27 |
| Tablica najaktivnijih godišnjih i periodickih potoka..... | 28 |
| Dodaci..... | 29 |
| Korisne adrese..... | 29 |
| Poligoni za određivanje granicnih magnituda..... | 30 |
| Formular za vizualna promatranja..... | 40 |
| Formular za vatrene kugle..... | 42 |
| Formular za meteorske oluje..... | 43 |

PREDGOVOR

Prošlo je već šest godina od izlaska posljednjeg priručnika za vizualna promatranja meteora namijenjenog promatracima u Hrvatskoj. U tom razdoblju desile su se neke promjene u standardima promatranja meteora, pa je postalo nužno tiskati novi priručnik koji će omogućiti Hrvatskim promatracima da ne zaostaju za ostatkom meteorskog svijeta.

Takoder, tužna je činjenica da u Hrvatskoj danas postoji samo nekoliko aktivnih promatraci. Prije Domovinskog rata skoro svaki grad imao je barem po jednu grupu koja vrši stalna promatranja meteora. Rat donosi uvijek mnogo zla, pa je tako kod nas, između svega ostalog, skoro zatrlo meteorsku astronomiju. Narocito težak udarac zadobili smo kad je 1995. godine u ratu poginuo jedan od naših najboljih promatraci, Drago Sirovica iz Šibenika. Iako ga nikad nisam imao čast susresti, posvećujem mu ovaj priručnik.

Ovo je tek prvo izdanje priručnika i svjestan sam mnogih propusta koji su učinjeni, ali uskoro bi trebalo izaci novo, puno potpunije, ljepše, kvalitetnije izdanje. U tome će mi, nadam se, pomoći sudionici Višnjanske škole astronomije '99. Bez obzira na sve to, bio bih zahvalan svima ako mi pošalju sugestije, kritike, ispravke pogrešaka,... Nadam se da ću ovim priručnikom ipak uspjeti u namjeri da popravim otužno stanje u meteorskoj astronomiji u Hrvatskoj.

Nikola Biliškov

KRATKA POVIJEST METEORSKE ASTRONOMIJE

Meteorska astronomija se kao znanstvena disciplina pocela razvijati tek negdje polovicom XIX. st. No, sama rijec *meteor* je grckog porijekla i znaci “nešto u zraku”, tako da je ta rijec do XVIII. st. upotrebljavana i za druge atmosferske pojave, kao što su: gromovi, aureole, kiša, oblaci, duge itd. Hipoteza o cisto atmosferskom porijeklu meteora održala se do kraja XVIII. st, iako su i ranije neki astronomi (Schickard, Montanari, Halley,...) govorili o izvanzemaljskom porijeklu te pojave. Smatralo se da meteori, slicno kiši, nastaju u višim slojevima atmosfere, dugi znanstvenici povezivali su ih s vulkanskom aktivnošću, barskim plinovima i slicno. 1751. godine pada meteorit u Hrašćinu, što navodi E. F. F. Chladnija da po prvi put ovu pojavu razmotri sistematski. Na temelju prikupljenih podataka utvrdio je da nema nacina da meteori i meteoriti nastanu u Zemljinoj atmosferi, nego da su oni nedvojbeno izvanzemaljskog porijekla. Tu teoriju nisu odmah svi prihvatili, tako da je cak i Alexander von Humboldt, koji je 1799. promatrao poznatu oluju Leonida, dvojio o porijeklu meteora.

Eksperimentalnu potvrdu Chladnijeve teorije dali su Benzenberg i Brandes 1800. na temelju promatranja istih meteora s razlicitih, udaljenih, položaja i kasnijeg izracunavanja visine na kojima se oni pojavljuju. Od tada Europski astronomi, kao što je Quetelet, organiziraju promatranja meteora. Quetelet je bio znacajan i po tome što je sastavio katalog meteora (1841) i sakupio veliki broj clanaka o meteorima.

Medutim, vjerojatno najznacajni dogadaj koji je dao konacni jaki poticaj razvoju meteorske astronomije je velika meteorska oluja Leonida u noci 12/13. studenog 1833. godine. Ovaj veliki dogadaj, zajedno s redovitim maksimumima Perzeida polovicom kolovoza, pokazali su da meteori nisu zemaljskog, nego izvanzemaljskog porijekla. H. A. Newton je 1863. zakljucio da Leonidi nastaju kad Zemlja prolazi kroz “potok” cestica u orbiti oko Sunca. Takoder je, na osnovu ranijih zapisa o Leonidima, predvidio njihov povratak 1866. Ovo predvidanje potaklo je prvo pravo multidisciplinarno promatranje Leonida. Povratak Leonida 1866. takoder je potaknuo prve astronome-ametere da pocnu s ozbiljnim promatranjima meteora.

1867. godine Kirkwood zakljucuje, na temelju promatranja, da su meteorski potoci zapravo rojevi cestica koje nastaju raspadom kometa. Peters, Schiaparelli i von Oppolzer 1867. godine primijecuju da je orbita kometa 55P/Tempel-Tuttle (1866 I) vrlo slicna orbiti Leonida. Schiaparelli 1871. istu vezu uspostavlja izmedu kometa 109P/Swift-Tuttle (1862 III).

Najstariji amaterski pothvat takoder datira iz polovice XIX.st. Amateri su tad bili narocito aktivni u Velikoj Britaniji, Italiji i Njemackoj. Najpoznatiji i najaktivniji amater-promatrac meteora svih vremena je nedvojbeno W.F. Denning (1848-1931), cija prva promatranja datiraju još iz 1860-tih. On je prvi utvrdio mnoge meteorske potoke, ali nažalost nije bio svjestan kompleksnosti prirode meteorskih potoka, tako da mnogi meteorski potoci, o kojima je on pisao, uopce ne postoje. On je smatrao da je svake noci aktivno barem 50 meteorskih potoka! Ipak, nakon 65 godina bavljenja meteorskom astronomijom, Denning je ostavio za sobom mnogo hvalevrijednog rada i stotine clanaka o meteorima.

Iako je mnogo truda uloženo u znanost o meteorima od polovice XIX. st, naše spoznaje o raspodjeli cestica u meteorskim potocima su mnogo novijeg datuma. Promatraci meteora iz XIX. st. cesto su bili vrlo obeshrabreni, jer su dobivali prilicno razlicite podatke o aktivnosti meteorskih potoka. Njihovi izvještaji su vrlo cesto opisni, subjektivni, što nam govori o tome da promatraci nisu znali kako da što

točnije, numerički obrade svoja promatranja. Šteta je što zbog toga danas ne možemo upotrijebiti ta stara promatranja da dobijemo jasniju sliku o raspodjeli meteoroidskih cestica. No, to nam govori koliko je važno imati neku standardnu metodu obrade promatranja.

Zajednica amaterskih promatrača meteora postala je vrlo jaka u XX. st. Vec 1900. brojne meteorske grupe postojale su širom svijeta. Meteorska sekcija Britanskog astronomskeg društva aktivna je od 1892, a 1911. je osnovano Americko meteorsko društvo. Otprilike 1939. pojavljuju se prvi individualni promatraci meteora. Potrebno je napomenuti da su nam poznata promatranja Perzeida provedena 1911. iz Pulske zvjezdarnice, tako da možemo reci da imamo dugu tradiciju na tom polju. Medutim, nedostatak dobro koordiniranih promatrackih programa i specijaliziranih prirucnika glavna su ogranicenja koja su ometala jaci razvitak meteorske astronomije. Nadalje, u periodu 1939-1945. zbog rata nisu vršena gotovo nikakva promatranja. Godinama nakon ovog *'blackouta'* meteorska astronomija se nije oporavila u ratom pogodnim zemljama.

Poslije II. svjetskog rata bilježimo uvođenje novih, revolucionarnih instrumentalnih tehnika u promatranje meteora. Od tada su izracunate stotine preciznih orbita. Možda najznacajni dogadaj u poslijeratnom razdoblju je osnivanje Medunarodne meteorske organizacije (IMO) 1988. Ova organizacija ujedinjuje promatrace meteora iz cijeloga svijeta; sva promatranja, obradena po standardnoj IMO-voj metodi, šalju se u jedan centar u kojemu se vrši detaljna analiza. Također, svi podaci su dostupni svim zainteresiranim promatracima. Pojava ove organizacije konacno je omogućila da se iz godine u godinu dobiva cjelovita slika o aktivnosti meteorskih potoka.

Veliki meteorski potoci danas su proučeni relativno dobro, iako još mnogi detalji nisu poznati, tako da ima još puno posla, kako za amatere, tako i za profesionalce. Također, mnogi mali i kompleksni potoci su još uvijek vrlo slabo poznati.

Skica za povijest Hrvatske meteorske astronomije

U poslijeratnom razdoblju bilježi se i znacajni razvoj meteorske astronomije u našim krajevima. Medutim, poznati su nam samo "obskurni" podaci. Znamo da su omladinci sa Zagrebacke zvjezdarnice odlazili promatrati meteore na Cres. Tada je prof. dr. Krešimir Pavlovski prvi put potpuno obradio promatranja na temelju ruske i Češke literature i objavio rezultate u casopisu "Vasiona". Uskoro je (1976) napisao i malu knjižicu "Meteori" u izdanju Zvjezdarnice u Sarajevu. Bio je to prvi prirucnik za promatranje meteora na hrvatskom jeziku, što je velik korak za našu meteorsku astronomiju, ali tada je uvedeno i rusko nazivlje u tu disciplinu. Meteorska astronomija, kao jedna od amaterima najprivlacnijih disciplina brzo se širi i uskoro u skoro svakom gradu imamo barem jednu aktivnu promatracku grupu. Najjace grupe promatrača su one iz Zagreba, Varaždina i Šibenika. Najveci dio promatranja meteora vrši se tada s otoka Prvica.

1988. godina je i kod nas, kao i u svijetu, vrlo važna godina za meteorsku astronomiju. Te godine Korado Korlevic shvaca svu uzaludnost cuvanja promatranja u ladicama i povremenog objavljivanja u "Vasioni", pa se povezuje s Paulom Roggemansom, upravo malo prije nastanka Medunarodne meteorske organizacije. Promatraci meteora iz Hrvatske sudjelovali su na prvom, osnivackoj konferenciji IMO-

a, a redovito sudjeluju na skoro svim tim godišnjim okupljanjima meteorskih entuzijasta iz cijelog svijeta.

1988. pokrece se prva Višnjanska škola astronomije, koja je tada potpuno orijentirana na promatranje meteorskog potoka Perzeida. Višnjanska škola astronomije postaje pravi "rasadnik" promatrača meteora i upravo je ona najzaslužnija za velik broj meteorskih skupina diljem bivše Jugoslavije. 1989. godine Korado Korlevic objavljuje prvo izdanje svog Meteorskog prirucnika.

1990. godine organizirana je prva medunarodna ekspedicija s ciljem objašnjenja velike Tunguske eksplozije što se dogodila 1908. godine. U toj ekspediciji sudjeluje i Korado Korlevic, koji svojim originalnim pristupom problematici postiže znacajne rezultate. Također sudjeluje i na kongresu o pojavama u atmosferi u Tomsku.

Domovinski rat je, međutim, svojim razornim djelovanjem gotovo uništio meteorsku astronomiju u našoj domovini. Najveći gubitak svakako je smrt Drage Sirovice 1995. na bojištu. Međutim, i na tom polju očituje se jaka volja miroljubivih ljudi da se svojim radom suprotstave smrti i razaranju. 1992. godine izlazi drugo, nadopunjeno izdanje Meteorskog prirucnika. Te godine izlazi znanstveni rad o rezultatima mikroskopskog proučavanja uzoraka smole iz Tunguske, koji nedvojbeno pokazuju da je tamo 1908. veliki meteorit eksplodirao nekoliko kilometara iznad površine zemlje. 19. siječnja 1993. godine još je jedan znacajan datum za Hrvatsku meteorsku astronomiju. Te noci, naše je nebo, kao i nebo sjeverne Italije i Slovenije, obasjao završni bljesak izuzetno sjajne vatrene kugle, popracene grmljavinom. Velik broj ocevoda stizao je sa svih strana u Zvezdarnicu Višnjan, a radovi objavljeni iz te zvezdarnice (tad su prvi put isprobane ljepljive "zamke" za mikrometeorite, a provedena je i elektronsko-mikroskopska i mikroanaliza prikupljenih uzoraka) doprinjeli su da taj velik događaj ne padne u zaborav, a strucnjaci iz Višnjana godinama su kasnije citirani u znanstvenim radovima na slicnim temama. Također su 1993. godine provedeni prvi pokusi s VLF (Very Low Frequency)-prijemnikom (Ž. Andreic, K. Korlevic). 1994. godine u Višnjanu se, na krovu Zvezdarnice, instalira *all-sky*-kamera, pri čemu Zvezdarnica Višnjan postaje jedna od stanica Europske mreže za praćenje vatrenih kugli (No. 77). U tom razdoblju djelovalo je tek nekoliko promatrača meteora, okupljenih u skupinu PPS DOK, nekoliko njih iz Zagrebacke zvezdarnice (okupljenih oko karizmatične Mirne Franjic), te polaznici Višnjanske škole astronomije (koji su uglavnom promatrali samo Perzeide).

Vjerojatno je najznacajni rezultat Hrvatske meteorske astronomije nakon Domovinskog rata ekspedicija ILW-Croatia koju je skupina okupljena oko Slavena Garaja poduzela u studenom 1998. Radilo se o promatranju meteorske oluje Leonida iz Mongolije i simultanom snimanju elektrofonih zvukova i VLF-zracenja Leonida. Ova ekspedicija postigla je vrlo znacajne rezultate i neki od rezultata objavljeni su kao znanstveni radovi u *Fizici A* i *Journal of Geophysical Research*. Hrvatska meteorska astronomija još uvijek pati od posljedica tužnog razdoblja Domovinskog rata, ali ostaje nam nada u bolju budućnost.

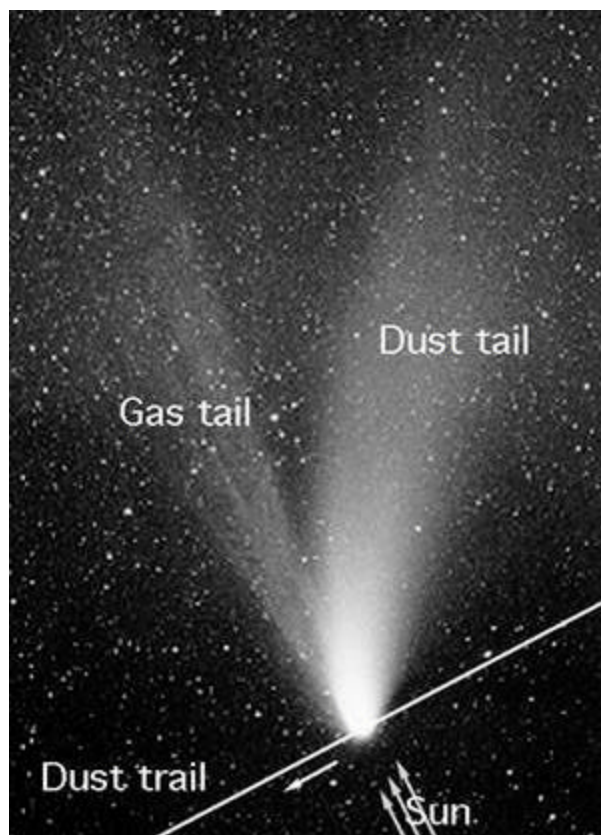
METEOROIDI I NJIHOVA EVOLUCIJA

Vjerojatno je svatko od nas, ako nije vidio (ili nije bio svjestan da to vidi), a onda barem čuo za Zodijsku svjetlost. Ta nježna traka svjetlosti, koju uočavamo nakon sumraka ili prije zore, a koja svoje pramenove pruža duž Zodijaka, nastaje

raspršenjem sunceve svjetlosti na najmanjim tijelima u našem kutku Svemira. Ta najmanja tijela zovu se meteoroidi, a okružuju cijeli Suncevi sustav u obliku velikog globalnog oblaka. Oni uzrokuju niz prekrasnih pojava na nebu koje su ipak donedavno skoro potpuno zanemarivane od strane astronoma (koji su tvrdili da to ne spada u njihovo polje interesa), a i od drugih znanstvenika (koji su te pojave pak gurali u astronomiju). Tek negdje polovicom XIX. st. ovo područje se konačno pomaknulo s "mrtve točke". Pojave koje uzrokuju meteoroidi (narocito već spomenuta Zodijska svjetlost i meteori) plijene svojom ljepotom zaljubljenike u prirodu, kao i ostale romantične duše.

Evolutija meteoroida

Meteoroidi su, kao što je već rečeno, sitne čestice međuplanetarne prašine, koje u najvećem broju slučajeva nastaju trošenjem kometa (slika 1). Da bismo shvatili te procese moramo znati i nešto o građi i sastavu kometa. Zapravo nam možda najjasniju sliku o građi kometa pruža sam naziv danas najprihvatljivijeg modela kometa -model



Slika 1. Komet Halle-Bop. Čestice prašine koje ostaju za kometom zbog relativno male brzine zadržavaju se na orbiti sličnoj orbiti kometa.

prljave grude snijega. Komet možemo zamisliti kao tijelo sastavljeno od leda (smrznute vode) i čestica prašine, uz još mnogo organskih tvari (npr. metanol, različiti ugljikovodici itd.). Čestice prašine koje ulaze u strukturu kometa nastale su u doba rođenja Suncevog sustava i spužvaste su grude (tzv. Brownleyeve čestice). Gustoća je takvih čestica 0.1 - 2 g/cm. Kad promatramo komet, lako ćemo uočiti tri glavna dijela od kojih se sastoji - od glave i od dva repa. Jedan rep, rep plina, je usmjeren suprotno

od Sunca, a drugi, rep prašine, zaostaje za kometom, tako da je zakrivljen (vidi sliku 1). Glava kometa se sastoji od jezgre i kome. Jezgra je upravo ona gruda "prljavog snijega" promjera nekoliko km, po kojoj je model dobio ime, a koma je prašina koja nastaje trošenjem jezgre pod utjecajem Suncevog vjetera, a još je locirana blizu jezgre.

Sad, kad znamo ono što nam je potrebno o građi kometa, red bi bio da saznamo i nešto o putanjama kometa. Svi kometi dolaze iz tzv. Oortovog oblaka koji se nalazi na oko 15000 astronomskih jedinica od Sunca, što je mnogo dalje od putanja Neptuna i Plutona. U tom oblaku, na putanji oko Sunca, kruži nekoliko milijardi kometa, a najveći dio kometa nikad ni ne napusti to područje. Kometu se poremeti putanja u tom oblaku zbog nekog gravitacijskog poremećaja, što može izazvati prolazak neke bliske zvijezde. Sad se komet može još više udaljiti od Suncevog sustava, može doći do sudara među kometima ili komet može ući u Suncevi sustav. Ako mu je putanja povoljna, on će zaci među planete, pri čemu se kometu može desiti i da prođe pored jednog od velikih planeta (narocito Jupitera), što, zbog snažnog gravitacijskog utjecaja, mijenja orbitu kometa. Takav komet može biti izbačen iz Suncevog sustava, ali može ostati i zarobljen u unutrašnjem Suncevom sustavu i takav komet nazivamo kratkoperiodičkim. Ovaj zadnji slučaj je narocito važan.

Život kratkoperiodičkih kometa je kratak, tek negdje između 10000 i 100000 godina. U tom je periodu komet pod stalnim utjecajem sunčeva zračenja. Na kometu dolazi do zagrijavanja površine, erupcija pare, erozije, a u nekim posebnim slučajevima i do fragmentacije kometa (poznati primjer je komet Biela). Komet gubi velik dio svoje mase u obliku plina i prašine i nešto većih krhotina. Nama su posebno zanimljive upravo te krhotine, koje zbog njihove veće mase Suncevi vjeter ne uspijeva potisnuti u rep, tako da ti ostaci zaostaju za kometom u njegovoj orbiti. Brzina odbacivanja tog materijala s kometa je mala (oko 10 m/s). Čestice koje se odvajaju na dnevnoj strani kometa se gibaju većom brzinom nego komet, dok one na suprotnoj strani zaostaju. Orbita tih čestica, meteoroida, ne razlikuje se puno od orbite kometa, što je znanstvenicima i omogućilo da utvrde vezu meteora i kometa. Dok je komet još "mlad" meteoroidi se nalaze uglavnom lokalizirani u njegovoj blizini, ali i dalje se dešavaju promjene, dešava se evolucija meteoroidskog potoka.

Evolucija meteoroidskog potoka će uvelike ovisiti o dimenzijama čestica, polumjeru jezgre kometa i o parametrima orbite kometa. U prvoj fazi evolucije sve odvojene čestice bit će lokalizirane u blizini kometa. Potoke u ovoj fazi zato nazivamo mladim potocima. U daljnjem razvitku brže čestice dostižu one sporije, tako da se sad meteoroidski potok proteže po cijeloj orbiti kometa. Nešto kasnije se meteoroidski potok počinje širiti, da bi se naposljetku i raspao. Najvažniji proces koji uvjetuje pojavu širenja potoka je sudaranje meteoroida nastalih raspadom kometa s meteoroidima iz globalnog oblaka. Kako je već ranije spomenuto, po cijelom se Suncevom sustavu proteže velik globalni oblak meteoroida, koji su nastali u doba nastanka Suncevog sustava ili kasnije raspadom kometa i asteroida. Čestice globalnog oblaka uglavnom su manje od kometskih meteoroida, jer je daleko najčešći oblik sudara tzv. erozivni, tj. sudar pri kojem se od većih meteoroidskih čestica odvajaju manje. Tako nastale čestice nastavljaju se gibati u putanjama različitim od putanje roditeljske čestice pa postaju dio globalnog oblaka. Sama roditeljska čestica također malo mijenja pravac gibanja, tako da se potok širi. Nakon nebrojivo mnogo takvih sudara ne možemo više govoriti o nekoj zajedničkoj orbiti tog mnoštva meteoroida, pa kažemo da se potok raspao. Postoji još jedan vrlo važan proces u evoluciji meteoroidskog potoka; prolaskom potoka pored nekog od velikih planeta, narocito Jupitera, dolazi do izbacivanja velikog broja čestica iz dotadašnjeg potoka. Dvije su moguće posljedice toga: potok može u potpunosti promijeniti svoju orbitu ili samo dio

potoka mijenja orbitu tako da u tom slučaju imamo dva ili nekoliko bliskih potoka (tzv. kompleksni meteorski potok).

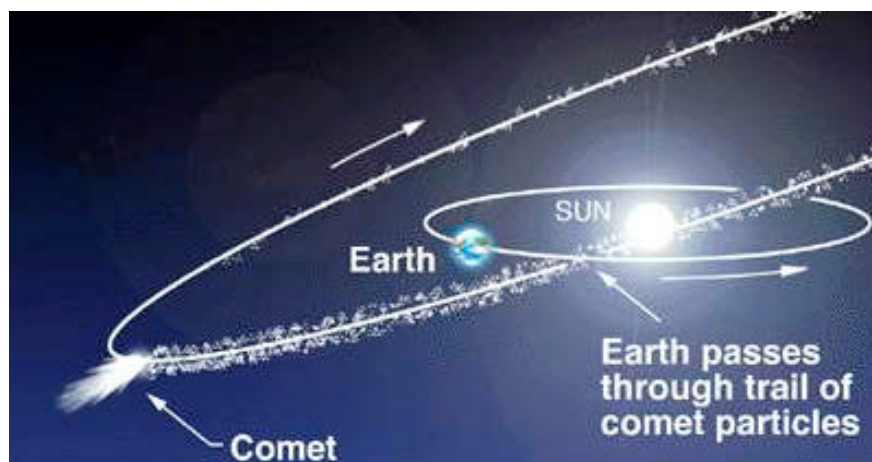
Kao što je već receno, meteoroidi globalnog oblaka nastaju i raspadom asteroida. Iako se asteroidi nalaze na više-manje stabilnim orbitama, ceste su perturbacije pa čak i njihovi sudari, pri čemu nastaje velik broj čestica različitih dimenzija i brzina. Ovako nastale čestice sastavljene su od mnogo tvrdog materijala od kometskih meteoroida, a mogu biti i mnogo veće od njih.

Kemijski sastav i grada meteoroida

Kemijski sastav meteoroida nam nije baš dobro poznat. Razlog je tome što se tehnike određivanja njihovog kemijskog sastava uglavnom ograničavaju na identifikaciju spektralnih linija meteora (dakle, poslije ulaska meteoroida u Zemljinu atmosferu). U ovako snimljenom spektru neće, dakle, biti samo spektralne linije koje potječu od meteoroida nego i one koje potječu iz atmosfere i produkata izgaranja. Ipak, poznato nam je da se meteoroidi obično sastoje od kalcija, magnezija, natrija, silicija, željeza i još nekoliko elemenata u obliku oksida, karbonata, silikata i sl. Postoji još jedna zgodna mogućnost određivanja sastava i strukture meteoroida. Ova tehnika se temelji na prikupljanju mikrometeorita iz atmosfere ili s morskog dna, polarnog leda, iz kiše itd. Ovdje se susrećemo s velikim poteškoćama koje proizlaze iz velike onečišćenosti uzoraka tvarima zemaljskog porijekla. Jedna od takvih analiza (mikrometeoriti skupljeni s dna Tihog oceana 1969.) daje nam, uz uobičajene elemente koji su zastupljeniji u meteoroidima, sljedeći sadržaj teških metala: 0.04-3 ppm Ni/Fe, 2-10 ppm Co/Fe, 26-7200 ppm Mn/Fe, 0.40-1 ppm Ir/Fe.

U zadnje vrijeme se razvojem satelita otvorila nova mogućnost određivanja sastava i strukture meteoroida. Prvi satelit koji se koristio u tu svrhu bio je američki satelit Pegasus (1960). Njegovi meteoroidski detektori licili su na solarne ćelije. Ti detektori su pokrivali veliku površinu, ali nisu nam mogli dati nikakve podatke o sastavu i strukturi meteoroida, već samo o njihovoj brojnosti. 1986. godine, kad je prolazio komet P/Halley, poslana je sonda Giotto u neposrednu blizinu jezgre kometa. Među ostalim instrumentima na ovoj sondi, bili su postavljeni i detektor pritiska i maseni spektrometar. Detektor pritiska davao je podatke o masi i dimenzijama meteoroida, a maseni spektrometar je određivao kemijski sastav meteoroida. Ovi instrumenti nisu dugo radili, budući da su mnogobrojni sudari s česticama brzine oko 62 km/s uzrokovali velika oštećenja sonde, ali ipak smo saznali vrlo vrijedne podatke o kemijskom sastavu meteoroida. Utvrđeno je da se ovi meteoroidi uglavnom sastoje od silikata, a prisutna je i velika količina organskih tvari.

Prije smo spomenuli i da se mikrometeoriti skupljaju iz Zemljine atmosfere. U tu svrhu najviše koriste avioni koji lete na velikim visinama, a opremljeni su kolektorima atmosferske prašine, među kojima se nalaze i mikrometeoroidi. Također postoji još jedan interesantan način sakupljanja mikrometeorita, koja je razvijena na zvezdarnici Višnjan u suradnji sa stručnjacima sa Sveučilišta u Bologni. Ova originalna tehnika se temelji na hvatanju mikrometeoritskih ostataka u ljepljive zamke, a primijenjuje se neposredno nakon prolaska velikih vatrenih kugli. Na taj su način uhvaćeni ostaci velike vatrene kugle iznad sjevernog Jadrana i sjeverne Italije koja je obasjala naše nebo u noći 18/19. siječnja 1993. Na taj način prikupljeni mikrometeoriti imaju sljedeći sastav: 60-80% Si, 10-30% Al, 5-10% K, 5-10% Ca, <1% Mg (što je neočekivano mali postotak), te vrlo mali postoci teških metala. Ove čestice ipak ne možemo smatrati tipičnim mikrometeoritima, budući da potječu od



Slika 2. Orbite nekih kometa sijeku Zemljinu orbitu. Kad Zemlje na svom putu oko Sunca dođe do sjecišta svoje orbite i orbite kometa, prašina koja je ostala iza kometa ulijeće u Zemljinu atmosferu i onda je aktivan neki meteorski potok.

netipično velike vatrene kugle, koja je vjerojatno asteroidskog porijekla. Također su učinjeni pokušaji da se sakupe mikrometeoriti koji potjecu od nedavne vatrene kugle videne s mnogo mjesta iz Hrvatske 3. XI. 1997.

Utvrđena je karakteristična "pahuljasta" struktura ovih čestica (Brownleyeve čestice). Prosječni meteoroid (meteoroid mase 0.1 g, promjera 0.9 cm i gustoće 0.28 g/cm³) je porozno, spužvasto tijelo čiji je skelet izgrađen od tzv. elementarnih kristalica iglicastog oblika, prosječne mase 0.00001 g, promjera 0.02 cm i gustoće 3.5 g/cm³. Šupljine među tim kristalicima mogu biti ispunjene vodom ili nekom organskom tvari. Ovakvom modelu meteoroida idu u prilog fotografska i radio promatranja, gdje iz krivulja sjaja određujemo strukturu.

Na kraju, što bismo mogli zaključiti? Meteoroidi i dan danas, zbog njihovih malih dimenzija ne možemo promatrati kao sva nebeska tijela, dok se nalaze u orbiti oko Sunca, tako da o njihovom sastavu i strukturi zasad samo nagađamo. Ipak neke stvari o njima su nam zasigurno poznate. Znamo da su uglavnom spužvaste građe, da su im roditeljska tijela asteroidi i kometi, ali i da ima meteoroida koji kruže nepromijenjeni u svojim orbitama od samog nastanka Sunčevog sustava (iako takvih ima relativno malo). Otkrivena su nam i vrata kemije meteoroida, iako zasad tek vrlo stidljivo provirujemo kroz njih. Saznanja o meteoroidima nam mogu biti ključ razumijevanja evolucije Sunčevog sustava, neki čak smatraju da je u njima "zarobljen" kemijski sastav ranog Sunčevog sustava. Zbog svega toga meteoroidska i srodne grane astronomije nisu više tek marginalne discipline.

Što su meteori?

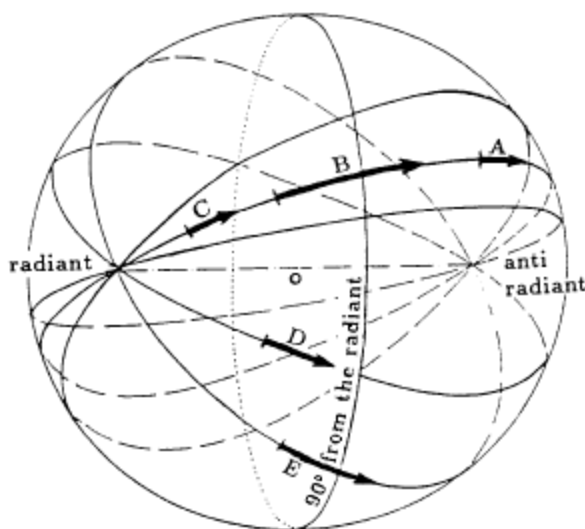
Meteori ili nebeske krijesnice nastaju kad sitne čestice međuplanetarne prašine, meteoroidi, ulaze u Zemljinu atmosferu. Zbog njihove velike brzine (između 11 i 72 km s⁻¹) sila trenja s česticama zraka uzrokuje veliko zagrijavanje zbog kojeg

dolazi do ionizacije molekula zraka, što je popraćeno emisijom svjetlosti. Upravo ovu svjetlosnu pojavu nazivamo meteorom. Neki meteori ostavljaju i svjetli trag koji može trajati od nekoliko sekundi do nekoliko desetaka minuta. Za vrijeme ekspedicije promatranja Leonida u Mongoliji promatrači su primijetili velik broj meteorskih tragova koji su trajali i preko pola sata!

Meteori se obično pojavljuju na visini od oko 100 km. Na toj visini gustoća atmosfere je otprilike 10^6 puta manja nego na razini mora. Prosječni meteoroid koji uzrokuje pojavu meteora ima promjer od 1 mm do 2 cm, ali ima i većih i manjih. Sjaj meteora jako ovisi o brzini meteoroida pri ulasku u Zemljinu atmosferu (V_8), te o njegovim dimenzijama.

Meteorski potoci

Svaki pažljiviji promatrač može tijekom većine vedrih noci u godini vidjeti desetak meteora po satu. No, postoje noci kad se može vidjeti mnogo više meteora. Tad kažemo da je aktivan neki meteorski potok. Ako obratimo pažnju na putanje meteora, tj. ako ih pažljivo ucrtamo na kartu neba, primijetit ćemo značajnu razliku između meteora koji se pojavljuju u “običnim” nocima i onih koji se pojavljuju u nocima povećane aktivnosti. Dok su u “normalnim” nocima putanje meteora slučajno orijentirane, u nocima pojačane aktivnosti većina će se putanja meteora, produžimo li ucrtane linije koje predstavljaju meteore, sijeci u jednom malom području neba. Ovo malo područje neba iz kojeg prividno izviru meteori zovemo radijantom (slika 3). Ta pojava je rezultat perspektive; meteoroidi koji pripadaju istom meteorskom potoku gibaju se po paralelnim i vrlo bliskim orbitama. Kad ulete u atmosferu i izazovu pojavu meteora čini nam se da svi oni dolaze iz radijanta. Isti privid nam se dešava kad gledamo dugu ravnu cestu, željezničku prugu, dalekovod i sl (slika 4.). Zbog perspektive, meteori koje uočimo na većim udaljenostima od radijanta duži su od meteora koje uočimo u blizini radijanta (slika 5). Ako uočimo neki meteor velike dužine u blizini radijanta sa sigurnošću možemo reći da on ne pripada promatranom potoku.



Slika 3. Sfera na koju se projicira meteor s različitih mjesta na površini Zemlje.

SLIKA

Slika 4. Radijant nastaje zbog efekta perspektive, slično kao što nam izgleda da duga, ravna cesta završava u jednoj točki.

SLIKA

Slika 5. Gledajući meteore koji pripadaju jednom potoku, čini nam se kao da svi izlaze iz jedne točke, radijanta. Ova kompozitna slika izboja α -Monocerotida 1995. nastala je spajanjem više pojedinih slika snimljenih pomoću video-kamere.

Još je jedna stvar važna za potocne meteore; svi meteori koji pripadaju istom meteorskom potoku imaju istu brzinu ulaska u atmosferu, tako da nam i to ponekad može pomoći pri određivanju pripadnosti potoku. Ipak, opet zbog perspektive, ne čini nam se da svi meteori istog potoka nemaju iste brzine. Vidjet ćemo da su meteori udaljeniji od radijanta brži od onih koji su bliže radijantu.

Meteorski potoci dobivaju imena po položaju radijanta na nebu. Tako, ako se radijant nalazi u Perzeju, taj potok nazivamo Perzeidima, meteore čiji se radijant nalazi u Lavu nazivamo Leonidima, a one s radijantom u blizini zvijezde ϵ -Gemini nazivamo ϵ -Geminidima. Postoje i meteorski potoci s višestrukim radijantima. Tada govorimo o kompleksnim potocima. Takvi potoci uglavnom se nalaze oko ekliptike i njihova je kompleksnost posljedica gravitacijskog utjecaja planeta, narocito Jupitera.

I u nocima s velikom meteorskom aktivnošću povremeno će se pojavljivati meteori čija je putanja slučajno orijentirana, tako da ih ne možemo pridijeliti ni jednom radijantu. Aktivnost tih meteora je tijekom cijele godine otprilike konstantna i nazivamo ih sporadicima. Možda će nam se ponekad, ucrtavajući sporadike, učiniti da smo pronašli neki novi radijant, ali konačna potvrda postojanja novog radijanta je da se svake godine u isto vrijeme ili barem u pravilnom razmaku od nekoliko godina uoče meteori iste upadne brzine koji se sijeku u istoj točki.

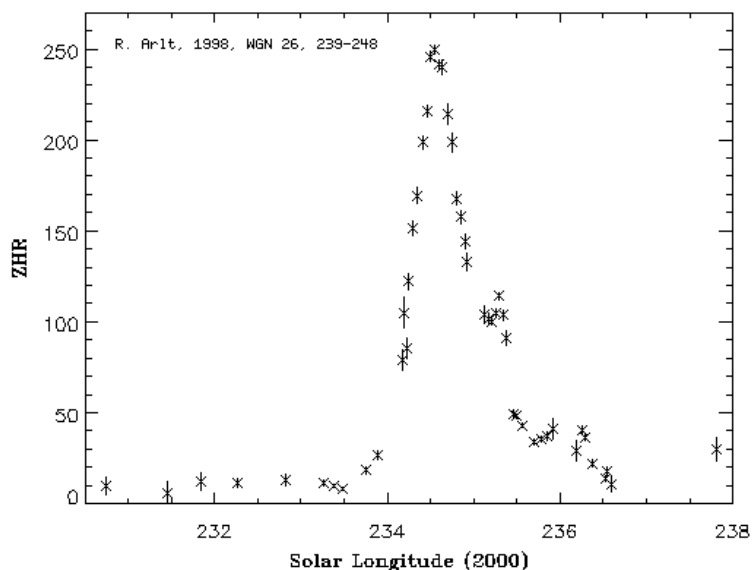
Period aktivnosti meteorskog potoka

Vecina meteorskih potoka, kao što su primjerice Perzeidi i Geminidi, aktivni su svake godine u isto vrijeme. Kažemo da su to godišnji potoci. No, postoje i potoci koji su aktivni samo jednom u više godina, dok je u drugim godinama njihova aktivnost mala ili nikakva. Te potoke nazivamo periodičkim. Takvi su npr. Drakonidi i poznati Leonidi.

Raspodjela čestica duž orbite meteorskog potoka ovisi o mnogobrojnim utjecajima, od kojih su najvažniji emisija prašine iz roditeljskog tijela, gravitacijske perturbacije planeta (narocito Jupitera), međusobni sudari čestica i dr. Svaki meteorski potok tako se sastoji od najgušćeg dijela (jezgre) u kojemu se nalazi većina čestica i od omotaca manje gustoće. Pri prolasku kroz meteorski potok Zemlja može proći kroz sve te slojeve, ali ne mora i o tome će ovisiti profil aktivnosti potoka u određenoj godini (slika 6.)

Kad Zemlja ulazi u meteorski potok možemo vidjeti prve meteore određenog potoka i takva minimalna aktivnost može trajati nekoliko dana. Tada Zemlja ulazi u gušći sloj potoka i primjećujemo porast aktivnosti. Maksimalna aktivnost određenog meteorskog potoka nastupa kad Zemlja prolazi kroz najgušći dio meteorskog potoka. U nocima koje slijede primjećujemo postepeni pad aktivnosti potoka.

Kod višednevnih pracenja aktivnosti nekog potoka primijetit ćemo i da se radijant pomice u odnosu na zvjezdanu pozadinu za otprilike 1° dnevno prema istoku i paralelno s ekliptikom. Ovu pojavu nazivamo dnevnim gibanjem radijanta i posljedica je Zemljinog gibanja oko Sunca.



Slika 6. Aktivost meteorskog potoka (u ovom slučaju Leonida 1998). U prvom periodu, dok Zemlja ne uđe u najgušći dio potoka, imamo nisku aktivnost. Zatim aktivnost raste dok ne postigne maksimum, a onda ponovo opada

Vatrene kugle (fireballi, kruglje)

Vecina meteora koje možemo vidjeti potječe od meteoroida prosječnih dimenzija, pa zato većinom vidimo “male” meteore. Ali ponekad se dešava da u Zemljinu atmosferu uleti neki veći meteoroid i tada promatrač meteora ostaje zadivljen sjajnim meteorom kojega nazivamo vatrenom kuglom. Ponekad možemo i čuti eksploziju ili neke druge zvučne efekte koje proizvode takvi meteori. Vatrene kugle su, prema definiciji IMO-a, meteori sjajniji od Jupitera, tj. sjajniji od -3^m . Naravno, prividan sjaj meteora ne mora biti toliki, pa postoji korekcija na zenitnu udaljenost meteora. Meteor prividnog sjaja -1^m tako može biti vatrena kugla ako ga vidimo na nekoliko stupnjeva iznad horizonta. Prividni sjaj bilo kojeg objekta, pa tako i meteora, opada s kvadratom udaljenosti od opažaca. Nadalje, količina apsorbirane svjetlosti je proporcionalna duljini puta svjetlosti kroz atmosferu. Svjetlost meteora videnog na horizontu pređe puno veći put do promatrača od svjetlosti meteora kojega vidimo u zenitu, tako da će meteori istog apsolutnog sjaja na različitim zenitnim udaljenostima prividno biti različitog sjaja. Istu pojavu zamjećujemo promatrajući Sunce; u podne, kad je na najvišoj točki na nebu, Sunce je prividno najsjajnije, dok je na zalazu, kad se nalazi blizu horizonta, prividno slabijeg sjaja. Zato je ponekad potrebno izračunati apsolutni sjaj meteora, a za to koristimo sljedeću formulu:

$$M = m + 5 \log (\sin h) \quad (1)$$

gdje je M apsolutna magnituda meteora, m prividna magnituda meteora, a h visina meteora iznad horizonta u stupnjevima.

Učestalost vatrenih kugli pokazuje dnevne i godišnje varijacije. Dnevne varijacije uzrokovane su rotacijom Zemlje oko vlastite osi. Tako najviše vatrenih kugli možemo vidjeti u zoru, negdje oko 6 h, a najmanje oko 18 h. Razlog je tome što se brzina meteora u zoru zbraja s brzinom rotacije Zemlje, a u 18 h se od brzine

meteora oduzima brzina rotacije Zemlje. Slicnu pojavu možemo zamijetiti vozeći se autom po kiši; na prednjem staklu (dakle tamo gdje se brzina kišnih kapi zbraja s brzinom automobila) past će puno više kišnih kapi nego na stražnje staklo (gdje se brzine oduzimaju). Godišnje varijacije ucestalosti vatrenih kugli uzrokovane su nejednolikom raspodjelom meteoroida duž orbite Zemlje. Najviše vatrenih kugli možemo vidjeti u razdoblju od veljace do travnja.

PROMATRANJE METEORA

Sad, nakon što smo rekli nešto o teoriji meteora, konacno prelazimo na praksu. Promatranje meteora je danas jedno od rijetkih područja astronomije i znanosti openito u kojem amateri mogu postizati dobre znanstvene rezultate i bez upotrebe skupe opreme. Pitanje je skoro svakog neprofesionalca koji se bavi znanostima: "Koliko je, zapravo, vrijednost mog rada?" Odgovor na to pitanje ovisi o ozbiljnosti pristupa tom radu. Vecim brojem kvalitetnih promatranja i pažljivo provedenih analiza mogu se nadopuniti mnoge praznine i nedorečenosti koje postoje u katalogima, posebno kod manje aktivnih i samim time za promatrace manje atraktivnih rojeva. Mogu se otkriti novi radijanti, prati se aktivnost rojeva u ovisnosti o godinama, registrira se prestanak aktivnosti nekih dotad aktivnih radijanata, postavljaju se nova pitanja, formiraju se hipoteze,...

Jedan od razloga zašto promatrati meteore je i zabava. Mnogi će se od vas upitati što je tu zapravo toliko zabavno, ali tek kad se upustite u pravo promatranje meteora, kad zajedno s nekoliko svojih istomišljenika otidete iz grada da bi nekoliko dana živjeli spartanski, u šatoru, daleko od civilizacije, na nekom brdu ili otoku da bi imali što bolje nebo za promatranje meteora shvatit ćete bit te zabave. Kad zaspete na nekoj livadi, a ujutro vas probudi bijesan vlasnik imanja sa željom da vas se docepa, kad vas napadnu divlji konji koji ruše sve pred sobom, čak i vaše šatore i kad umjesto meteora promatrate kako dolazi oluja i onda vam kiša smoci sve vaše stvari, tek onda ćete moci glasno i ponosno reci: "Ja sam promatrac meteora!" Postoje tisuće priča koje vam meteoraši mogu ispričati i ja bih sada mogao ovdje pisati o tome, ali ovom priručniku to nije namjena. Uostalom, bavljenje meteorima neminovno će vas navesti na povezivanje s drugim meteorašima diljem cijelog svijeta i stalno ćete od njih saznavati nove i nove price.

Meteorska astronomija je pravi hobi za vas koji se želite povezivati s ljudima iz cijelog svijeta jer u ovoj je astronomskoj disciplini to narocito važno. Da bi se dobila potpuna slika o aktivnosti meteorskog potoka nužno je skupiti podatke o tom meteorskom potoku sa svih zemljopisnih dužina. U doba opće globalizacije ljudskog društva i pretvaranja svijeta u globalno selo meteorska astronomija na taj će vam način pomoci da postanete pravi građanin svijeta.

Priprema za promatranje

Iako priprema promatranja spada u tehnicke, na prvi pogled nebitne poslove, od nje ovisi uspješnost cijelog promatranja. Možda će vam ovaj odlomak izgledati kao tupljenje, ali ipak vam savjetujem da ga pažljivo pročitate i zapamtite savjete.

- **Promatracko mjesto** nastojte da bude što dalje od naseljenih mjesta. Odaberite mjesto sa što manje objekata koji vam mogu ograniciti vidno

polje (stabla, zgrade, planine,...). Naravno, u blizini promatrackog mjesta ne smije biti ulicne i druge rasvjete. Promatraci u Njemackoj, kad moraju promatrati u blizini naseljenog mjesta, obicno prebacuju vrecu preko ulicne svjetiljke. Promatracko mjesto mora biti i sigurno za promatraca. Nemojte promatrati meteore na rubovima provalija ili u blizini brloga neke životinje. Svakom promatracu se ponekad desi da iznenada zaspe na promatranju i to onda može završiti kobno. Zimi promatracko mjesto mora biti u zavjetrini i u blizini nekog sigurnog skloništa. Pricali su mi neki promatraci kako su osluškivali vukove koji im se sve više i u sve vecem broju približavaju... Dobro je u toku dana obici mjesta s kojih bi se moglo promatrati meteore, te preko jedne noci provjeriti kakvo je svjetlosno zagadenje mjerenjem granicne magnitude. Onda se odabere najbolje mjesto. Mjesto bi trebalo biti lako dostupno jer sa sobom treba donijeti i dosta opreme i pribora. Ako se izabrano mjesto naazi na privatnom posjedu, bilo bi dobro zamoliti vlasnika za dozvolu.

- **Sunce i Mjesec.** Promatranje se planira imajući u vidu i osale astronomske pojave, astronomski sumrak, izlaz i zalaz Mjeseca, fazu Mjeseca i sl. Ako je ikako moguće, planirajmo da nam za vrijeme cijelog promatranja Sunce bude bar $12-14^\circ$ ispod horizonta. Smetnje koje izaziva Mjesec bitno ovise o njegovoj fazi. Taj se efekt može zanemariti 5 dana prije i poslije mladaka, dok Mjesec u uštapi može smanjiti broj videnih meteora i za faktor 10. Smetnja je to manja što je Mjesec bliži horizontu. U svakom slucaju, centar vidnog polja tokom promatranja uvijek bi nam trebao biti barem 60° udaljen od Mjeseca.
- **Položaj radijanta.** Promatranje određenog potoka treba planirati kad je njegov radijant barem 20° iznad horizonta. Naravno, u slucaju neke izuzetno važne pojave treba promatrati i u nepovoljnim uvjetima.
- **Vremenske prilike.** Prije promatranja trebalo bi pratiti prognoze vremena i kretanje oblaka. Na Internetu postoji mnogo stranica koje daju informacije te vrste, a možemo izdvojiti Meteosatovu stranicu na kojoj svakih pola sata imamo najnoviju snimku određenog dijela svijeta u svim potrebnim spektralnim područjima. Ova stranica se nalazi na adresi <http://www.nottingham.ac.uk/meteosat>. Korisne informacije mogu se naci i na stranicama Meteo France: <http://www.meteo.fr/> i BBC-evim stranicama: http://www.bbc.co.uk/weather/worldweather/europe/index_j.shtml.
- Ako se vrše grupna promatranja, pripreme treba zapoceti barem tjedan dana prije, tako da se svi clanovi grupe pravodobno obavijeste. Veliku pomoc u pripremi promatranja može nam pružiti IMO-ov bilten "Meteor Shower Calendar" u kojemu se nalaze osnovne informacije o meteorskim potocima koje bi trebalo te godine promatrati, uz informacije o vremenu kad nastupa maksimum, fazama Mjeseca itd.
- **Tocno vrijeme.** Prije promatranja treba podesiti sat, jer je u slucaju pojave vatrene kugle neobicno važno zabilježiti, između ostalih podataka, i u sekundu točno vrijeme prolaska. Preporučio bih vam nabavku sata koji se automatski namješta primajući signal s nekog atomskog sata. Takvi satovi nisu skupi, a najtočniji su. Također, možemo preporučiti i BBC-ev World-Service na kratkom valu (SW). Ovaj servis emitira na frekvencijama 15.070, 12.095, 9.410, 7.325 i 6.125 MHz. Pocetak sata dan je s dužim

signalom poslije 6 kratkih otkucaja. U formulare se uvijek zapisuje vrijeme po UT (Universal Time) da kasnije ne bi dolazilo do grešaka.

Prije pocetka promatranja zabilježite datum promatranja i ime i prezime (ili šifru) promatrača! Videni meteori se mogu bilježiti na kazetu (pomocu diktafona), na poseban formular, ali i na rolnu papira (slika 7).

SLIKA

Slika 7. Videni meteori mogu se bilježiti i na rolnu papira, i to, uz malo vježbe, u potpunom mraku i bez skretanja pogleda s neba.

Velike napore, konzumiranje cigareta, alkoholnih pica i dr. trebalo bi prije i u toku promatranja izbjegavati. Pod djelovanjem takvih sredstava svako se promatranje pretvara u “star party” i kao takvo potpuno gubi svoju znanstvenu vrijednost. Radi održavanja budnosti može se piti kava ili uzimati neki drugi preparat koji sadrži kofein.

Slijedi popis pribora i opreme koji bi trebalo nositi na promatranje meteora:

- Vreca za spavanje (tj. za promatranje meteora)
- Prostirka (najbolje najlonska)
- Topla odjeca
- Najmanje dvije obicne olovke
- Ravnalo
- Šiljilo
- Podloga za papir
- Baterijska svjetiljka s crvenim filterom i ispravnim baterijskim ulošcima
- Rezervni baterijski ulošci
- Precizan sat
- Diktafon ili papir na koji se mogu zapisivati videni meteori
- Nekoliko praznih kazeta
- Gnomonske karte
- Pribor za snimanje (fotoapar, stativ, žicani okidac)
- Formulari za meteore (Visual Observing form, Fireball Observing Form...)
- Radio-prijemnik
- Hrana, pice
- Nož
- Šibice ili upaljac
- Otvarac za konzerve
- Pribor za prvu pomoc

Promatranje meteora

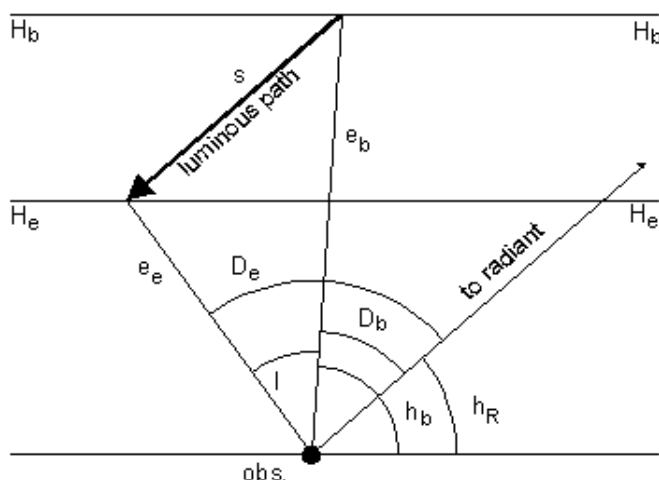
Ako se promatra u grupi svaki promatrač mora promatrati neovisno o drugima. Nikad ne pokušavajte kombinirati podatke s podacima ostalih promatrača! Svaki promatrač mora imati svoje podatke i ispunjavati svoje formulare.

Važno je što tocnije snimiti promatranje, bilo na traku ili na papir. Sirovi podaci moraju sadržavati slijedece detalje:

- Datum i ime promatrača.

- Vremena početka i kraja promatranja, vremena početka i kraja pauza, te početka i kraja ucrtavanja svakog meteora. Sva vremena moraju biti u UT-u. U našim krajevima to je naše vrijeme umanjeno za jedan sat zimi, odnosno dva sata ljeti.
- Centar vidnog polja
- Granicnu magnitudu i sve promjene granicne magnitute tokom promatranja.
- Postotak neba prekrivenog oblacima i drugim objektima.
- Svakih petnaestak minuta trebalo bi zabilježiti vrijeme. U slučaju velike aktivnosti vrijeme se bilježi svakih pet minuta, a u slučaju pojave vatrene kugle zabilježi se točno vrijeme njene pojave.
- Detalji o svim videnim meteorima

Preporuča se da se tokom promatranja prati pomicanje neba. Ako promatrano polje postane nepovoljno, tj. ako se previše spusti ili zade za neki objekt, potrebno je promijeniti vidno polje. Centar vidnog polja uvijek bi trebao biti barem 50° iznad horizonta.



Slika 8. Put meteora kroz atmosferu i način na koji promatrač vidi taj meteor.

Procjena sjaja meteora i određivanje granicne magnitute

Procjena sjaja meteora

Procjena sjaja meteora pri vizualnim promatranjima vrši se usporedbom sjaja videnog meteora s poznatim sjajem zvijezda ili planeta na istoj zenitnoj udaljenosti. Pri tom treba napomenuti da se procjenjuje maksimum sjaja meteora, međutim, u slučaju pojave vatrene kugle dobro je procijeniti sjaj takvog meteora na početku, u sredini i na kraju.

Slijedi popis nekih objekata koji mogu poslužiti za procjenu sjaja meteora:

| | |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -10 ^m | Mjesec u prvoj i posljednjoj četvrti |
| -6 ^m | mladi Mjesec |
| -4 ^m | Venera |
| -2 ^m | Jupiter, Mars u perihelnoj opoziciji |
| -1.5 ^m | Sirius, Mars u normalnoj opoziciji |
| 0 ^m | Vega, Kapela, Arktur |
| 0.5 ^m | Procion |
| 1 ^m | Aldebaran, Poluks, Spika, Altair, Saturn, |
| 1.5 ^m | Regul |
| 2 ^m | Sjevernjaca, β -Umi, α -And, α -Per, α -Uma, γ -Gem, γ -Leo, α -Oph |
| 2.5 ^m | α -Peg, δ -Leo, γ -Uma, ε -Cyg, α -Cep |
| 3 ^m | γ -Umi, η -Peg, β -Tri, ε -Gem, γ -Boo |
| 3.5 ^m | η -Cep, α -Tri, δ -Gem, γ -Boo, α -Aqr |
| 4 ^m | κ -Cas, δ -Tau, σ -Leo, ζ -Boo, ζ -Lyr, π -Peg |
| 5 ^m | Alkor |



Određivanje granicne magnitude

Granicna magnituda je magnituda najslabijih zvijezda koje promatrač može vidjeti golim okom. Ona je mjera kako uvjeta vidljivosti, tako i vida promatrača.

Drugim riječima, to je karakteristika promatrača kao instrumenta u konkretnim okolnostima. Postoji više načina određivanja granicne magnitude, ali mi ćemo se ovdje ograničiti za metodu brojanja zvijezda. Ova metoda je dovoljno pouzdana i IMO je preporučuje. Sastoji se u prebrojavanju svih zvijezda koje promatrač može vidjeti bez naprezanja unutar poligona određenog zvijezdama, uključujući i zvijezde koje određuju granice poligona. Pritom je važno prebrojiti zvijezde unutar barem dva poligona da se izbjegnu pogreške. Poslije se iz tablica koje su priložene uz karte očita granicna magnituda. Na stranicama koje slijede dani su za naše zemljopisne širine upotrebljivi poligoni koji se koriste za određivanje granicne magnitude.

Na kartama priloženim na kraju priručnika date su i magnitude (decimalne točke su izostavljene) sjajnijih i pojedinih zvijezda do 6.5^m . Treba imati u vidu da nisu date sve zvijezde do te magnitude, već samo pojedine za koje smatramo da ih je lako prepoznati. Uocavanje ovih zvijezda eventualno može poslužiti kao dodatni kriterij za određivanje granicne magnitude.

Što učiniti kad se pojavi meteor?

Sad, kad ste legli u svoje vreće za spavanje (tj. vreće za promatranje) na lijepom mjestu gdje želite promatrati meteore, našli pogodno vidno polje, procijenili granicnu magnitudu i sve ostalo, ostaje vam samo još da pravilno zabilježite videne meteore. Kad vidite meteor pokušajte mu zapamtiti sjaj i put koji je prošao. Najvažnija informacija o meteoru je pripadnost određenom potoku. Da biste ispravno odredili pripadnost meteora nekom potoku trebate dobro zapamtiti njegov put preko nebeskog svoda, produžiti taj pravac i vidjeti da li on prolazi kroz radijant. No, kako je već ranije napomenuto, a to ponavljamo još jednom, to nije dovoljno, nego treba paziti i na još dvije stvari:

- Potocni meteori imaju to veće brzine što su udaljeniji od radijanta, te što je njihova visina iznad horizonta veća. Blizu radijanta ili horizonta meteori su prividno sporiji.
- U blizini radijanta ili horizonta meteori su kraci. U samom radijantu meteori su točkasti (tzv. stacionarni meteori). Što je veća udaljenost meteora od radijanta, to mu je veća i prividna dužina.

Sjaj meteora ocijenite s točnošću na pola magnitude.

Ako uočite trag meteora koji ostaje na nebu više od nekoliko sekundi, zabilježite i njegovo trajanje. Bilo bi dobro nacrtati i kako se trag raspada u atmosferi.

Nemoguće je osjetiti boju meteora slabijeg od 2^m , ali kod sjajnijih meteora često uočavamo i njihove boje. Uočiti ćemo da meteori određenog potoka imaju i iste boje. Pri uočavanju vatrene kugle potrebno je zabilježiti i njenu boju.

Trajanje promatranja

Promatranje meteora treba trajati što je duže moguće. Što duže promatrate, to ćete više meteora vidjeti i to će vam točnija biti promatranja. Ako prekinete promatranje prerano možda ćete propustiti najveći "show". No, tokom promatranja potrebno je uzimati povremene pauze. Jedan period ne bi trebao trajati duže od 1.5 sat, ali preporuča se uzimanje pauze svakih 45 min do 1 sat. Za vrijeme pauze dobro je malo prošetati, nešto pojesti i popiti.

Tijekom promatranja svu svoju pažnju posvetite meteorima. Izbjegavajte slušanje muzike i razgovor

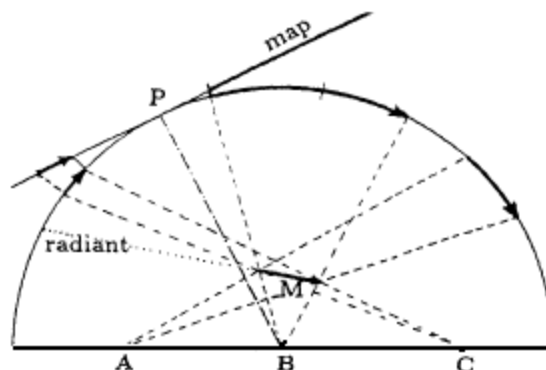
SLIKA

Slika 9. Ova slika prikazuje zašto više meteora možemo vidjeti u zoru nego u sumrak

Ucrtavanje meteora

Pri promatranju meteorskih potoka male aktivnosti preporučuje se ucrtavanje svih vidjenih meteora na posebne karte dijelova neba. Karte za ucrtavanje meteora su karte pojedinih dijelova neba u gnomonskoj projekciji. To je projekcija koja nam omogućuje da sve meteore možemo prikazati kao ravne strelice.

Kad vidimo meteor treba što tocnije upamtiti njegovu putanju u odnosu na zvijezde i tek ga onda ucrtati. Važno je da se kasnije od ukupnog vremena promatranja oduzme vrijeme koje smo utrošili na ucrtavanje meteora, pa treba zabilježiti svaki pocetak i kraj ucrtavanja. Svaki meteor prikazuje se kao strelica koja pokazuje u smjeru gibanja meteora, a pridružuje mu se i broj. Da bismo povećali upotrebljivost ucrtanih meteora, treba zabilježiti i njihovu brzinu (0 je stacionarni meteor, 1 vrlo spor, 2 spor, 3 srednje brz, 4 brz, a 5 vrlo brz meteor).



Slika 10. Projekcija meteora na nebesku sferu. P oznacava centar karte za ucrtavanje, a M trajektoriju meteora.

Promatranje meteora u uvjetima vrlo velikih aktivnosti

Meteorske oluje su vrlo rijetke, ali spektakularne pojave, kad se u kratkom vremenu može vidjeti više stotina, pa i tisuca meteora. Zaista, prava poslastica za svakog promatrača meteora. Ali unatoc atraktivnosti ovih pojava, a možda upravo zbog njihove spektakularnosti, još ni jedna meteorska oluja nije pravilno, znanstveno obradena. Jednostavno, nije postojala prava metoda promatranja. Broj meteora koji se pojavljuju u kratkom vremenu za vrijeme prave meteorske oluje daleko premašuje brzinu bilježenja meteora, pa gubimo mnogo podataka koji nam kasnije trebaju u analizi. Uobicajena metoda vizualnog promatranja meteora ovdje nam nije korisna. To najbolje znaju promatrači oluje Leonida 1966. godine, prema cijim podacima, kad izracunavamo ZHR, on ispada negdje između 15000 i nekoliko milijuna. Svakako,

vrlo netočno. Zbog toga je IMO izdao pravila za promatranje meteorskih oluja, koja bi nam trebala pomoći da dobijemo što točnije podatke. Ovdje je opisana ta metoda.

No, prije svega bi trebalo definirati meteorsku oluju. Meteorskom olujom (meteor storm) ćemo smatrati maksimum nekog meteorskog potoka kad učestalost meteora toliko naraste da ih se ne može prebrojati. Možda bi bilo dobro spomenuti i izboj (outburst), a to je događaj kad neki, inače mali, potok u svom maksimumu ima nekoliko puta veći ZHR nego inače. Pretprošle godine su zabilježena dva izboja (Lipanjski Bootidi-June Bootids i Drakonidi), a očekivala se i oluja Leonida, događaj koji ni jedan promatrac meteora ne bi smio propustiti.

Ovdje će biti navedene samo najvažnije metode promatranja. Ako vas zanima neka druga metoda, trebali bi posjetiti stranice IMO-a (<http://www.imo.net>).

Za vrijeme meteorske oluje aktivnost meteora tokom noci raste od uobičajene aktivnosti kakvu susrećemo pri promatranju većih potoka pa sve do aktivnosti od nekoliko meteora u sekundi. Zato je vizualnom promatraču vrlo teško prilagoditi se takvim nesvakidašnjim uvjetima. Svatko tko je promatrao neki malo veći maksimum, kakav je npr. bio maksimum Kvadrantida 1995. ili Perzeida 1993. godine, zna kako je teško zabilježiti svaki meteor pri takvim aktivnostima. Zamislite onda kako je tek bilo promatracima koji su promatrali Leonide 1966! Ovdje ćemo opisati tehnike kojima se promatrac treba služiti, ovisno o aktivnosti. Aktivnost ćemo izražavati kao HR, tj. broj meteora koje promatrac vidi u jednom satu.

1. Aktivnost koja odgovara velikim potocima (HR = 50-500)

Diktafon ili nešto drugo (npr. papir) na što se bilježe meteori mogu bilježiti bez ikakve smetnje do 500 meteora na sat, što znači oko 8 meteora u minuti. Budući da su meteori slučajne pojave, trenutna aktivnost im može biti i do 15 meteora u minuti, tako da nas to može zbuniti. Čak i obični veliki meteorski potoci, kao što su Perzeidi, Kvadrantidi i Geminidi mogu nas prisiliti da kontinuirano bilježimo meteore nekoliko minuta, nakon čega može slijediti krace "zatišje".

Pri takvim aktivnostima ne bi trebalo zaustavljati traku, ali dovoljno je samo javljati magnitudu meteora. Informacija o pripadnosti potoku nije tada toliko važna jer najveći broj meteora pripada potoku čiji maksimum promatramo. U slučaju pojave nekog meteora koji ne pripada tom potoku, o njemu treba reći sve-pripadnost potoku i sjaj. Čak i ako niste potpuno sigurni u točnost procjene sjaja viđenog meteora ne bi ga trebalo izostaviti. Ako svi promatraci iz vaše grupe rade na isti način, broj meteora će biti dovoljno velik da se male greške u procjenjivanju sjaja neće odraziti na populacijski indeks.

Određivanje granicne magnitude često će biti ometeno meteorima. Poželjno bi bilo, zbog toga, uzeti pauzu dok se određuje granicna magnituda. Teško je prekinuti promatranje dok vidate toliko meteora, ali za određivanje granicne magnitude gubite vrlo malo vremena, a ZHR jako ovisi o dobro određenoj granicnoj magnitudi. Nemojte zaboraviti prebrojavati zvijezde u barem dva trokuta!

2. Vrlo velika aktivnost (HR= 500-4000)

Ova aktivnost poklapa se s 8-67 meteora u minuti u prosjeku. Drugim riječima, to je negdje između "ponekad" i "stalno". Promatrac u ovim uvjetima više ne može pravilno procjenjivati sjaj meteora. Aktivnost od 4000 meteora na sat znači otprilike 1 meteor svake sekunde, ali ponekad ih ima i više zbog statističke prirode pojave.

Pokušajte procjenjivati sjaj što je duže moguće. Ne brinite ako se počnete osjećati nesigurnim u procjene, jer će procjene ostalih promatracu iz vaše grupe poništiti greške. Naravno, necete imati vremena zaustavljati traku nakon svakog meteora-samo govorite u mikrofon dok traka ide. Vremena ćete lako odrediti kasnije, ali je ipak dobro na početku i kraju trake zabilježiti vrijeme. Vaša traka će sadržavati, dakle,

vrijeme na početku snimanja, vrijeme na kraju snimanja i mnogo određenih magnituda meteora. I opet-nemojte zaboraviti određivati granicnu magnitudu!

3. Oluja ($HR > 4000$)

Kad se aktivnost popne na 1 ili više meteora u sekundi možemo govoriti o pravog meteorskoj oluji. Meteoriti se tad trebaju bilježiti što je jednostavnije moguće, npr. zvukovima kao što je "bip". Pri većim aktivnostima čak i to postaje nemoguće. Možete onda za svakih deset meteora jednom reci "bip", samo na početku trebate reci da prelazite na takav način snimanja. Vrijeme se bilježi na isti način kao u slučaju vrlo velike aktivnosti.

Promatraci meteora su 1966. koristili drugu metodu; promatraci su pogledom šarali po cijelom nebu i brojali koliko meteora mogu vidjeti u jednom zamahu glavom. Naravno, ova metoda nije baš precizna, tako da se ne preporuča.

Na kraju ovog priručnika naci ćete neke korisne adrese na kojima možete naci sve detaljnije informacije o Leonidima, ali i o drugim meteorskim potocima. Također, postoji poseban formular, sličan onome za vizualna promatranja, samo što je ovaj za

SLIKA

Slika 11. Meteorska oluja Leonida 1966. godine. Uz ekspoziciju od 2 min snimljeno je preko 50 meteora!

meteorske oluje. Možete ga naci na kraju priručnika. Odmah ćete uočiti sličnost s običnim formularom za vizualna promatranja, samo što ovdje imamo samo jedan potok koji promatramo (u našem slučaju Leonidi-piše se LEO) i rubriku za sporadike. Također ćete uočiti da je podijeljen na 30 perioda. Jedan period treba sadržavati između 10 i 30 meteora. Ako niste u mogućnosti razlučiti Leonide od sporadika zbog prevelike aktivnosti, upišite samo TOT kao promatrani potok i u tu kolonu upišujte ukupni broj meteora. Raspodjela po sjaju se treba raditi za svakih 40-80 meteora. Umjesto naziva potoka treba upisati vremenski period od kad do kad su viđeni meteoriti u tom retku.

POSLIJE PROMATRANJA

Svi podaci koje ste prikupili tijekom promatranja trebaju se sistematizirati i obraditi da bi kao takvi imali znanstvenu vrijednost. Ovo obavljate poslije promatranja, najbolje odmah nakon što se probudite.

Ako ste ucrtavali meteore, onda ih sada treba "pretvoriti" u njihove koordinate, tj. treba odrediti koordinate početka i kraja meteora, te vrijeme prolaska i njegovu brzinu (vidi poglavlje Urtavanje meteora). Ti podaci unose se u posebnu tablicu koju kasnije koristimo u analizi.

Popunjavanje formulara za vizualna promatranja

Da bi naša promatranja bila upotrebljiva u daljnjoj znanstvenoj analizi potrebno ih je srediti. U IMO svake godine pristiže tisuće i tisuće promatranja i, kad bi ta promatranja bila sirova, iz njih bi se teško mogla provesti bilo kakva analiza. Zbog toga je obaveza svakog promatrača da poslije promatranja svoja promatranja

obradi. Obradeni podaci unose se u formular za vizualna promatranja i u tom se obliku šalju u IMO. Primjer takvog ispunjenog formulara prikazan je na slici.

Svi ti podaci se dalje obraduju i globalna analiza aktivnosti meteorskog potoka onda izlazi u WGN-u, glasilu IMO-a. Sva promatranja iz cijelog svijeta unose se u Visual Meteor Data Base (VMDB), bazu podataka dostupnu svima koji su zainteresirani.

Prvo u formular unesite podatke o sebi, mjestu i vremenu promatranja, te svoju šifru i šifru promatrackog mjesta (ako ta šifra već postoji). Svaki promatrač ima svoju šifru koja se sastoji od prva tri slova prezimena i prva dva slova imena (npr. šifra Gorana Zgrablica je ZGRGO). Šifre nekih promatrackih mjesta u Hrvatskoj nalaze se u tablici 1. U prvu tablicu u formularu treba upisati koordinate promatranih potoka. Treba napomenuti da se i umjesto imena promatranih potoka unosi njihova šifra koja se sastoji od tri slova (Perzeidi su PER, κ-Cignidi su KCG, a Drakonidi su GIA). Ove šifre naci cete među karakteristikama pojedinih potoka i u tablici poznatih meteorskih potoka.

Tablica 1. Popis nekih lokacija u Hrvatskoj.

| Mjesto | λ | ϕ | IMO kod |
|-------------|-------------|-------------|---------|
| Višnjan | 13°43'48" E | 45°16'53" N | 23003 |
| Rušnjak | 13°46'47" E | 45°11'47" N | 23005 |
| Mali Lošinj | 14°28'31" E | 44°31'57" N | 23202 |
| rt Kamenjak | 13°55'27" E | 44°47'36" N | 23203 |
| Žumberak | 15°23'14" E | 45°45'44" N | 23205 |

Podjela promatranja na intervale. Promatranje prije obrade treba podijeliti na periode koji ne bi trebali biti duži od 1.5 sat, a kraci od 1 sat. Granice tih intervala moraju se poklapati s nekim vremenom koje je označeno na traci. Na poledini formulara nalaze se tri jednake tablice. U te se tablice unose svi podaci o promjenama uvjeta promatranja. Sva vremena moraju biti u UT-u!

U drugu kolonu unose se **koordinate centra vidnog polja**. Ovdje je dozvoljena greška do 10°.

Efektivno vrijeme promatranja dobijemo kad oduzmemo početak promatranja od kraja, ali od toga treba još oduzeti i trajanje svih prekida promatranja zbog pauza, ucrtavanja meteora i dr. Efektivno vrijeme treba biti izraženo u satima.

Slijedeća kolona u tablici odnosi se na **korekciju na oblačnost (F)**. Da bismo dobili tu vrijednost treba pomnožiti sve postotke naoblake s intervalima u kojima je bilo oblačno. Zatim se to podijeli s trajanjem cijelog intervala promatranja:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n k * t_i}{t(\text{total}) * 100} \quad (2)$$

Dobivena vrijednost k služi nam za izračunavanje korekcije F :

$$F = \frac{1}{1 - k} \quad (3)$$

Granicna magnituda. U treću kolonu upisuje se prosječna granicna magnituda za interval. To izračunavamo po formuli:

$$Lm(avg) = \frac{\sum_{i=1}^n Lm(i) * t(i)}{\sum_{i=1}^n t(i)} \quad (4)$$

Dalje u tablicu upisujemo broj videnih meteora, uz metodu kojom smo promatrali. Pritom se za brojanje meteora upisuju C, a za ucrtavanje P.

Raspodjela po sjaju. Zadnja tablica u formularu služi nam da podijelimo meteore po njihovom sjaju. Ovdje se upisuje koliki je broj meteora pojedinih potoka imao određeni sjaj. Pritom se meteori s polovicnom vrijednošću magnitude broje kao da polovicom imaju višu, a polovicom nižu magnitudu. Zato je najbolje za prebrojavanje sastaviti posebnu tablicu.

OSNOVE ANALIZE AKTIVNOSTI METEORSKIH POTOKA

Kad nekog meteoraša zapitamo kakva je bila aktivnost nekog meteorskog potoka, on će nam vjerojatno odgovoriti: “Pa, ZHR je bio oko 100, populacijski indeks 2.1,...” Dakako, u znanosti se ne priznaju odgovori tipa “Bilo ih je puno”, već se sve izražava u brojkama. U ovom odlomku donosimo objašnjenja nekih osnovnih pojmova iz analize meteorskih potoka. Podrobnije i detaljnije podatke o analizi meteorskih potoka trebate potražiti u literaturi koja je navedena na kraju priručnika.

Racunanje zenitne satne frekvencije (ZHR-a)

Zenitna satna frekvencija je mjera aktivnosti meteorskih potoka. To je broj meteora koje bismo vidjeli u idealnim uvjetima, a idealni su uvjeti kad je radijant u zenitu, granicna magnituda je 6.5^m, a nebo je potpuno vedro. Naravno, takve uvjete nikad nećemo imati, pa zato u račun ZHR-a ulaze i korekcijski faktori.

ZHR se računa po formuli:

$$ZHR = \frac{FCKN}{T} \quad (5)$$

gdje je F korekcija na oblačnost, C je korekcija na granicnu magnitudu, K je korekcija na zenitnu udaljenost radijanta, N je broj videnih meteora, a T je ukupno trajanje perioda za koji računamo ZHR.

Određivanje korekcije na oblačnost

Vec je ranije (Popunjavanje formulara za vizualna promatranja) opisano kako se računa ta korekcija, pa nećemo opet ponavljati taj postupak. Kako bi ta korekcija bila što točnija, potrebno je za vrijeme promatranja zabilježiti svaku promjenu oblačnosti. U slučaju da oblačnost pređe 30% najbolje je uzeti pauzu.

Određivanje korekcije na granicnu magnitudu

Za što preciznije određivanje ovog koeficijenta preporučuje se računanje populacijskog indeksa i raspodjele po sjaju. Međutim, kad imamo premali broj meteora bolje nam je ne računati ovaj indeks jer su greške prevelike zbog statističke prirode indeksa r . Tada uzimamo vrijednosti populacijskog indeksa iz tablica, a za sporadike se uzima da je $r = 3$.

Sama korekcija na granicnu magnitudu onda se računa po formuli:

$$C = r^{(6.5-L_m)} \quad (6)$$

Određivanje korekcije na zenitnu udaljenost radijanta

Najjednostavniji, ali istovremeno i najneprecizniji način određivanja ove korekcije je procjena visine radijanta za vrijeme promatranja ili iz vrtece karte neba. Znatno je bolje izračunati visinu radijanta pomoću formule:

$$\cos z = \sin \Phi \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \cos (\Theta - \alpha) \quad (7)$$

gdje je z zenitna udaljenost radijanta, Φ zemljopisna širina promatrača, δ deklinacija radijanta, α rektascenzija radijanta, a Θ lokalno zvjezdano vrijeme. Korekcija K se onda izračunava po formuli:

$$K = \sec z = \frac{1}{\cos z} \quad (8)$$

Da se izbjegne traženje zvjezdanog vremena po efemeridama, najbolje je izraditi mali program koji ga računa.

Ako želimo računati zvjezdano vrijeme “pješke”, ovdje se nalazi postupak:

1. Pretvaranje datuma u Julijanske dane (JD)

Julijanski dani započinju Grinickim podnem ili u 12 sati po UT-u, a računaju se po formuli:

$$JD = \text{int}(365.25 \cdot Y) + \text{int}[30.6001 \cdot (M + 1)] + D + DD + 1720994.5 + B \quad (9)$$

gdje je Y godina, M je mjesec, D je dan, a DD je sat kad je vršeno promatranje podijeljen s 24. int znači da se uzima najveća cijela vrijednost (npr. $\text{int}19.87 = 19$). Ako je $M = 1$ ili 2 onda uzimamo $Y=Y-1$ i $M=M+12$.

$$B = 2 - 19 + \frac{Y}{400} \quad (10)$$

2. Određivanje lokalnog zvjezdanog vremena

Položaj i vidljivost nebeskih objekata nam pokazuje lokalno zvjezdano vrijeme, a do njega dolazimo pronalaženjem Grinickog zvjezdanog vremena u 0 sati po UT-u:

$$GS = 0.276919398 + 100.0021359 \cdot T + 0.000001075 \cdot T^2 \quad (11)$$

$$T = \frac{JD - 2415020}{36525} \quad (12)$$

gdje je GS Grinicko zvjezdano vrijeme u 0 sati UT. Dobiveno vrijeme je u rotacijama Zemlje, pa ga treba pretvoriti u sate, minute i sekunde. Zato izdvojimo decimalni dio i pomnožimo ga s 24.

Zvjezdano vrijeme u Grinicu u određeno vrijeme racuna se na slijedeći način:

$$\text{GST} = \text{GS} + \text{H} \cdot 1.002737908 \quad (13)$$

gdje je H vrijeme u kojemu je vršeno promatranje. Ako je $\text{GST} > 24$ onda se od dobivene vrijednosti GST oduzme 24.

Nama treba zvjezdano vrijeme ne u Grinicu nego na mjestu našeg promatranja. Da bi to dobili Grinickom vremenu dodamo razliku zemljopisne dužine, λ , izraženu u satima:

$$\lambda (\text{h}) = \frac{I (^{\circ})}{15} \quad (14)$$

Dakle,

$$\Theta = \text{GST} + \lambda(\text{h}) \quad (15)$$

Iz toga izracunamo zenitnu udaljenost radijanta.

Pogreške pri racunanju ZHR-a

Kako se radi o statistickoj obradi podataka, pogreška ovisi o broju vidjenih meteora. Neodređenost ZHR-a je tim veća što broj meteora manji. Pogreška ZHR-a određuje se formulom:

$$\text{ZHR}_{err} = \frac{\text{ZHR}}{\sqrt{N}} \quad (16)$$

Kao što vidimo, neodređenost ZHR-a je vrlo velika, pa nema smisla dobivene vrijednosti ZHR-a ostavljati s decimalama. ZHR se zato uvijek zaokružuje na cijeli broj.

Primjer izracunavanja ZHR-a

Sada ćemo pokazati na primjeru kako se izracunava ZHR iz podataka dobivenih obradom promatranja.

Recimo da smo u noći 16/17. studenog 1998. u periodu od 12:30 do 13:00 po UT-u, s promatrackog mjesta u Mongoliji ($\phi = 47^{\circ}12'$, $\lambda = 106^{\circ}28'$) ugledali 45 Leonida. Treba izracunati ZHR Leonida u tom periodu, ako je bilo u prvih 10 minuta 10% naoblake, a onda do kraja 5% naoblake, a granicna magnituda je prvih pet minuta bila 6.0, onda je 10 minuta bila 6.2, a nakon toga 6.3.

➤ Prvo racunamo korekciju na oblacnost (F) koristeći formule (2) i (3). U formulu

$$k = \frac{0.1 \cdot 10 \text{ min} + 0.05 \cdot 20 \text{ min}}{30 \text{ min}} = 0.03$$

(2) uvrstimo:

Sad ovu vrijednost uvrstimo u formulu (3):

$$F = \frac{1}{1 - 0.03} = 1.031$$

➤ U sljedećem koraku određujemo korekciju na granicnu magnitudu, iz formule (6). Prvo, da bismo odredili prosjecnu granicnu magnitudu, koristimo (4):

$$Lm = \frac{6.0 \cdot 5 \text{ min} + 6.2 \cdot 10 \text{ min} + 6.3 \cdot 15 \text{ min}}{30 \text{ min}} = 6.22$$

vrijednost prosjecne granicne magnitute uvrstimo u (6), pri cemu vrijednost populacijskog indeksa uzimamo iz tablice (u našem slucaju on iznosi 2.5):

$$c = 2.5^{(6.5-6.22)} = 1.29$$

- Dolazimo do najsloženijeg koraka racuna, do korekcije na zenitnu udaljenost radijanta (K).

Prvo moramo izracunati Julijanski dan iz formule (9):

$$JD = \text{int}(365.25 \cdot 1998) + \text{int}[30.6001 \cdot (11 + 1)] + 13 + 0.531 + 1720994.5 - 12.01$$

$$JD = 2451132.521,$$

pri cemu je:

$$DD = \frac{12.5h + 13h}{2} \div 24 = 0.531$$

$$B = 2 - 19 + \frac{1998}{400}$$

Lokalno zvjezdano vrijeme racunamo iz (12) i (11):

$$T = \frac{JD - 2415020}{36525} = 0.98870694$$

$$GS = 0.276919398 + 100.0021359 \cdot 0.98870694 + 0.000001075 \cdot 0.98870694^2$$

$$GS = 99.149726^\circ$$

Da bi dobili vrijeme u satima, izdvojimo decimalni dio i pomnožimo ga sa 24h:

$$GS = 0.149726 \cdot 24 = 3.593424h$$

Ovo je sad Grinicko zvjezdano vrijeme u 0h UT. Zvjezdano vrijeme u Grinicu u 12:45, tj. 12.75 ((12:30 + 13:00):2) racunamo iz (13):

$$GST = 3.593424 + 12.75 \cdot 1.002737908 = 16.378332h$$

Nas zanima zvjezdano vrijeme na promatrackom mjestu, pa koristimo (15), prethodno preračunavši geografsku dužinu promatrackog mjesta iz stupnjeva u sate, koristeći (14):

$$\lambda (h) = \frac{106^\circ 28'}{15} = 7.0978h$$

Dakle,

$$\Theta = 16.378332h + 7.0978h = 23.476h$$

$$\Theta(^{\circ}) = 23.476h \cdot 15 = 352.14^\circ$$

Sad to uvrstimo u (7):

$$\cos z = \sin 47^\circ 12' \sin 22^\circ + \cos 47^\circ 12' \cos 22^\circ \cos (352.14^\circ - 153.2^\circ) = 0.322$$

$$K = \frac{1}{0.322} = 3.11$$

- Iz svega toga, i iz poznatih nam podataka, te iz:

$$t_{\text{eff}} = 30\text{min} = 0.5h$$

iz (5) izracunamo ZHR:

$$ZHR = \frac{1.031 \cdot 1.29 \cdot 3.11 \cdot 45}{0.5h}$$

$$ZHR = 372 \text{ h}^{-1}$$

- Pogrešku ZHR-a racunamo koristeći (16):

$$ZH Re rr = \frac{372}{\sqrt{45}} = 55$$

Racunanje populacijskog indeksa (r)

Sjaj meteora je proporcionalan dimenzijama meteoroida od kojega taj meteor nastaje. Tako nam raspodjela meteora po sjaju može ukazati na raspodjelu meteoroida u roju po masama (dimenzijama). Idealni promatrac, tj. promatrac koji primijeti sve meteore koji se pojave i potpuno točno svim tim meteorima odredi sjaj, primijeti ce da je omjer broja meteora magnitude $m+1$ i m konstantan. Taj omjer nazivamo populacijskim indeksom:

$$r = \frac{N(m+1)}{N(m)} \quad (17)$$

Za točno racunanje ovog indeksa potreban nam je što veći broj meteora određenog potoka.

Populacijski indeks nije konstantan preko svih magnituda, ali za većinu vizualnih meteora ($+6^m$ do 0^m) može se reći da je ipak konstantan. Kako ovaj indeks upućuje na raspodjelu čestica po masama unutar meteorskog roja, ovo je vrlo važan koeficijent u meteorskoj znanosti. Tipični populacijski indeks za sporadike je oko 3, dok za potoczne meteore on može varirati između 2.0 i 3.5. To drugim riječima znači da broj meteora eksponencijalno raste sa smanjenjem magnitude. Međutim, u tablicama raspodjele po sjaju ne nailazimo na takav raspored meteora. Razlog je tome činjenica da realni promatrac vidi uvijek samo dio meteora, a najveći dio uopće ne uoči. Vjerojatnost uočavanja meteora najviše ovisi o njegovom sjaju i njegovoj udaljenosti od centra vidnog polja promatrača. Slijedeca tablica prikazuje kako se opažena raspodjela po sjaju razlikuje od realne.

Tablica 2 Razlika između broja uocnih meteora i realnog broja meteora za $r = 3.0$ i $L_m = 6.0^m$

| Magnituda | Broj videnih meteora | Vjerojatnost opažanja | Realni broj meteora |
|-----------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| m | n | p | N |
| -1 | 1 | 0.94 | 1 |
| 0 | 2 | 0.85 | 3 |
| 1 | 7 | 0.74 | 9 |
| 2 | 14 | 0.52 | 27 |
| 3 | 19 | 0.24 | 81 |
| 4 | 19 | 0.079 | 243 |
| 5 | 17 | 0.023 | 729 |

OSNOVNI PODACI O NAJAKTIVNIJIM GODIŠNJIM METEORSKIM POTOCIMA

Popis korištenih oznaka:

α – rektascenzija radijanta

δ – deklinacija radijanta

λ° -longituda Sunca

ZHR^{\max} – ZHR potoka u maksimumu

V – brzina kojom meteoroidi ulaze u Zemljinu atmosferu

H^b – Najveća visina s koje meteor postaje vidljiv

H^e – visina na kojoj meteor prestaje biti vidljiv

Kvadrantidi (QUA)

Pravi promatrači meteora ne mogu zamisliti Novu godinu bez ovog potoka. Kvadrantidi su svakako jedan od najaktivnijih godišnjih potoka, ZHR im u maksimumu često prelazi 170. Promatrajući ih 1995. godine ostao sam zatečen velikim brojem meteora, toliko velikim da smo jedva sve uspjeli zabilježiti na diktafone. Vrlo su mladi, a još im sa sigurnošću nije poznato roditeljsko tijelo. Šteta je što mnogi promatrači ipak propuštaju Kvadrantide, bilo zbog novogodišnjih praznika, bilo zbog hladnoće, jer radi se o jednom od najatraktivnijih meteorskih potoka.

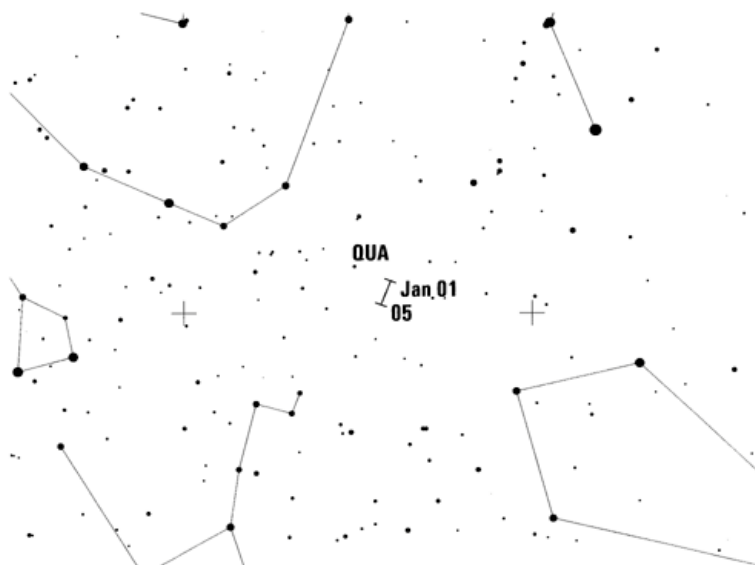
Položaj radijanta: $\alpha = 230.1^\circ$ $\delta = 48.5^\circ$

Promjer radijanta: 5°

Dnevno pomicanje radijanta: $\Delta\alpha = 0.8^\circ$ $\Delta\delta = -0.2^\circ$

Tablica 3 Položaji radijanta Kvadrantida

| Datum | $\alpha/^\circ$ | $\delta/^\circ$ |
|-------|-----------------|-----------------|
| 1. I. | 228 | 50 |
| 5. I. | 230 | 49 |



Slika 12 Položaj radijanta Kvadrantida

Period vidljivosti: 1. I. – 5. I.

Maksimum: $\lambda^\circ = 282.7^\circ \pm 0.2^\circ$ (4. I.)

Karakteristike potoka: r varira s λ°

$$\text{ZHR}^{\text{max}} = 120$$

$$V = 41 \text{ kms}^{-1}$$

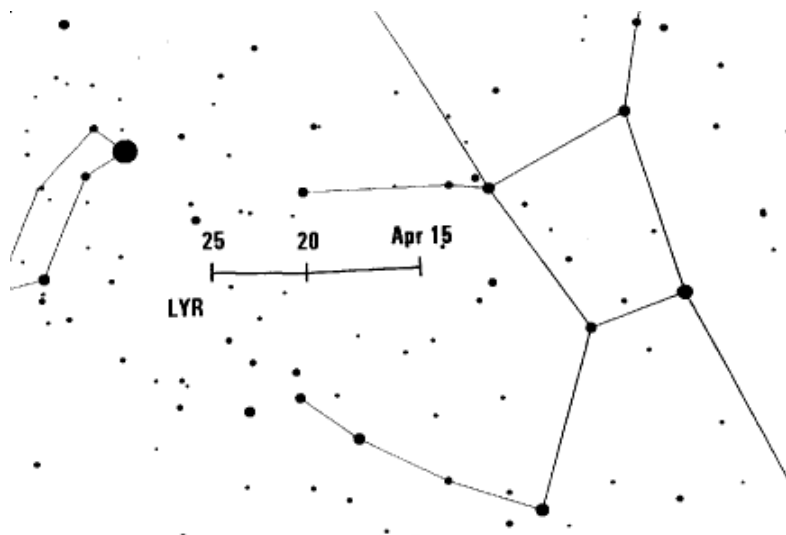
$$H^b = 103 \text{ km}$$

$$H^\circ = 91 \text{ km}$$

Roditeljsko tijelo: vjerojatno komet 96P/ Macholz 1

Liridi (LYR)

Liridi se pojavljuju nakon dužeg vremena “odsutnosti” većih meteorskih potoka, pa su zbog toga, kao i zbog činjenice da su aktivni na proljeće, toliko omiljeni među promatracima meteora. Liridi nisu narocito bogati sjajnijim meteorima, čak bi se moglo reći i da su vrlo siromašni takvim meteorima. Vrlo su brzi. Za vrijeme Lirida aktivni su i Virginidi. To je ekliptički potok male aktivnosti, ali zato vrlo kompleksan s još uvijek nedovoljno poznatom strukturom. Zbog toga je dobro promatranje Lirida kombinirati s ucrtaivanjem Virginida.



Slika 13 Položaj radijanta Lirida

Položaj radijanta: $\alpha = 271.4^\circ$ $\delta = 33.6^\circ$

Promjer radijanta: 5°

Dnevno pomicanje radijanta: $\Delta\alpha = 1.1^\circ$ $\Delta\delta = 0.0^\circ$

Tablica 4 Položaji radijanta Lirida

| Datum | $\alpha/^\circ$ | $\delta/^\circ$ |
|---------|-----------------|-----------------|
| 15. IV. | 263 | 34 |
| 20. IV. | 269 | 34 |
| 25. IV. | 274 | 34 |

Period vidljivosti: 16. IV. – 25. IV.

Maksimum: $\lambda^\circ = 32.1^\circ$ (22. IV.)

Karakteristike potoka: $r = 2.9$

$$\text{ZHR}^{\max} = 15$$

$$V = 49 \text{ kms}^{-1}$$

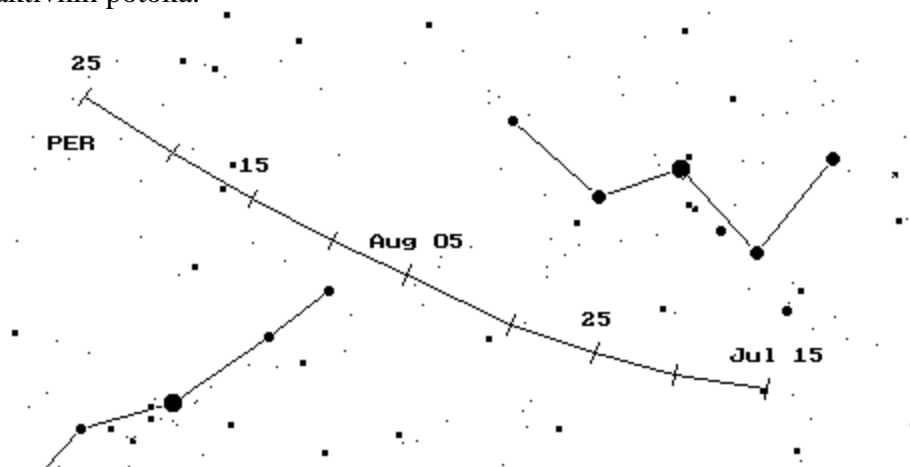
$$H^b = 107 \text{ km}$$

$$H^c = 88 \text{ km}$$

Roditeljsko tijelo: komet Thatcher (C/1861 G1)

Perzeidi-Suze svetoga Lovre (PER)

Ovo je svakako najpoznatiji i najbolje proučen meteorski potok. Aktivan je tijekom kolovoza, što pruža mogućnost vrlo ugodnog promatranja spojenog s ljetovanjem. Poznate su mi čak i neke fešte ljudi koji inače ne promatraju meteore, koje su propale zbog velikog broja sjajnih Perzeida. Perzeidi su jako lijep meteorski potok, bogat velikim cesticama, što znači da u nocima velike aktivnosti Perzeida možemo vidjeti i velik broj vatrenih kugli. Broj vatrenih kugli dodatno povećavaju još dva meteorska potoka aktivna u doba maksimuma Perzeida: Kaprikornidi i κ -Cignidi. Ovome treba dodati i cijeli kompleks Akvarida... Svakako bi trebalo kombinirati brojanje Perzeida s ucrtavanjem cijelog tog mnoštva drugih, manje aktivnih potoka.



Slika 14 Položaj radijanta Perzeida

Položaj radijanta: $\alpha = 46.2^\circ$

$\delta = 57.4^\circ$

Promjer radijanta: 10°

Dnevno pomicanje radijanta: $\Delta\alpha = 1.4^\circ$

$\Delta\delta = 0.18^\circ$

Period vidljivosti: 17. VII. – 24. VIII.

Maksimum: $\lambda^\circ = 140.1^\circ$ (13. VIII.)

$\lambda^\circ = 139.6^\circ$ (12. VIII.) novi maksimum od 1990.

Karakteristike potoka: $r = 2.6$

$$\text{ZHR}^{\max} = \text{između } 100 \text{ i } 200$$

$$V = 59 \text{ kms}^{-1}$$

$$H^b = 114 \text{ km}$$

$$H^c = 94 \text{ km}$$

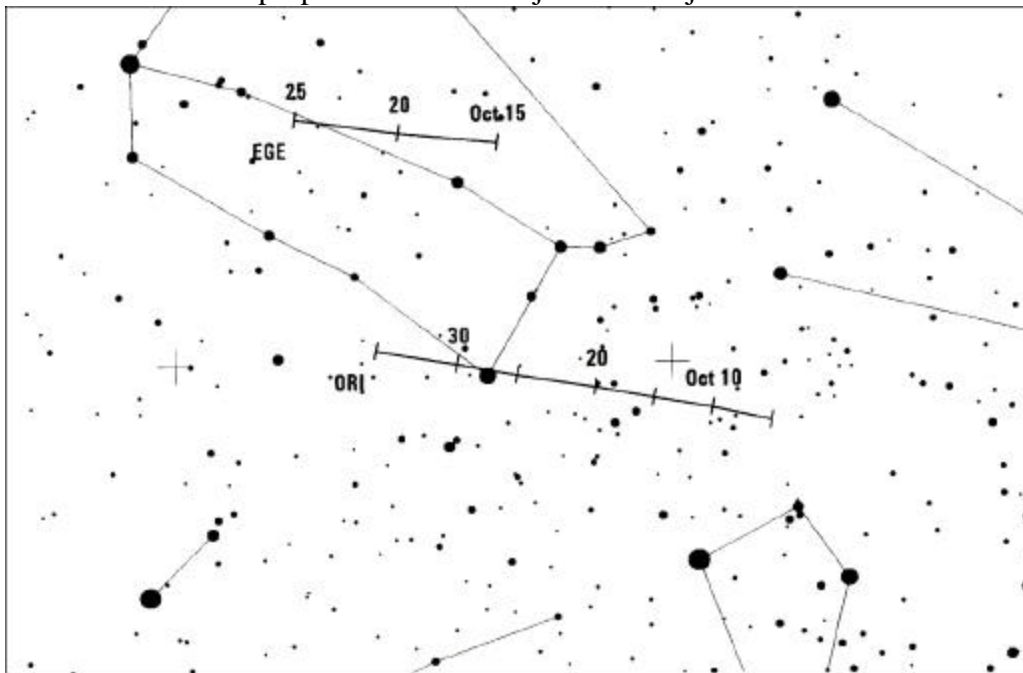
Tablica 5 Položaji radijanta Perzeida

| Datum | $\alpha/^\circ$ | $\delta/^\circ$ |
|-----------|-----------------|-----------------|
| 15. VII. | 12 | 51 |
| 20. VII. | 18 | 52 |
| 25. VII. | 23 | 54 |
| 30. VII. | 29 | 55 |
| 5. VIII. | 37 | 57 |
| 10. VIII. | 43 | 58 |
| 15. VIII. | 50 | 59 |
| 20. VIII. | 57 | 59 |
| 25. VIII. | 65 | 60 |

Roditeljsko tijelo: komet 109P/Swift-Tuttle

Orionidi (ORI)

Meni osobno je ovo najdraži meteorski potok. Orionidi su prekrasni; aktivnost im nije baš prevelika, ali oni jako često ostavljaju za sobom kratkotrajne tragove, imaju kompleksnu strukturu radijanta (još uvijek nedovoljno dobro proučenu). Kao posljedica kompleksnosti strukture potoka, maksimum Orionida ne možemo predvidjeti s dovoljnom sigurnošću, tako da i to donosi jednu određenu dozu neizvjesnosti. Za vrijeme aktivnosti Orionida aktivni su još neki meteorski potoci, od kojih ćemo izdvojiti ϵ -Geminide i narocito zanimljive Sjeverne i Južne Tauride. Tauridi su vrlo spori meteori, aktivnost ova dva potoka nije velika, ali zato su vrlo bogati vatrenim kuglama. Zbog svega ovoga, mislim da ni jedan ozbiljniji promatrač meteora ne bi smio propustiti vrlo zanimljivo razdoblje aktivnosti Orionida.



Slika 15 Položaj radijanta Orionida

Položaj radijanta: $\alpha = 95^\circ$ $\delta = 16^\circ$
 Promjer radijanta: 15°
 Dnevno pomicanje radijanta: $\Delta\alpha = 0.65^\circ$ $\Delta\delta = 0.11^\circ$

Period vidljivosti: 2. X. – 7. XI.
 Maksimum: $\lambda^\circ = 208^\circ$ (21. X.)

Karakteristike potoka: $r = 2.9$
 $ZHR^{\max} = 20$
 $V = 66 \text{ kms}^{-1}$
 $H^b = 117 \text{ km}$ $H^\circ = 99 \text{ km}$

Roditeljsko tijelo: komet 1P/Halley

Tablica 6 Položaji radijanta Orionida

| Datum | $\alpha/^\circ$ | $\delta/^\circ$ |
|--------|-----------------|-----------------|
| 5. X. | 85 | 14 |
| 10. X. | 88 | 15 |
| 15. X. | 91 | 15 |
| 20. X. | 94 | 16 |
| 25. X. | 98 | 16 |
| 30. X. | 101 | 17 |
| 5. XI. | 105 | 17 |

Leonidi (LEO)

Što bi se još moglo reci o Leonidima? Jednostavno-još jedan potok kojega ne smijete propustiti, čak i u godinama slabije aktivnosti i pokušajte se sjetiti onih promatrača koji su otišli na drugi kraj svijeta da vide “*the great display or the great meteor swindle*”. I nemojte zaboraviti na α -Monocerotide!



Slika 16 Položaj radijanta Leonida

Položaj radijanta: $\alpha = 153.2^\circ$ $\delta = 22^\circ$

Promjer radijanta: 5°

Dnevno pomicanje radijanta: $\Delta\alpha = 0.70^\circ$ $\Delta\delta = -0.42^\circ$

Tablica 7 Položaji radijanta Leonida

| Datum | $\alpha/^\circ$ | $\delta/^\circ$ |
|---------|-----------------|-----------------|
| 15. XI. | 150 | 23 |
| 20. XI. | 153 | 21 |

Period vidljivosti: 14. XI. – 21. XI.

Maksimum: $\lambda^\circ = 235.16^\circ$ (18. XI.)

Karakteristike potoka: $r = 2.5$

ZHR^{\max} = obično oko 15, ali može doći i do oluje

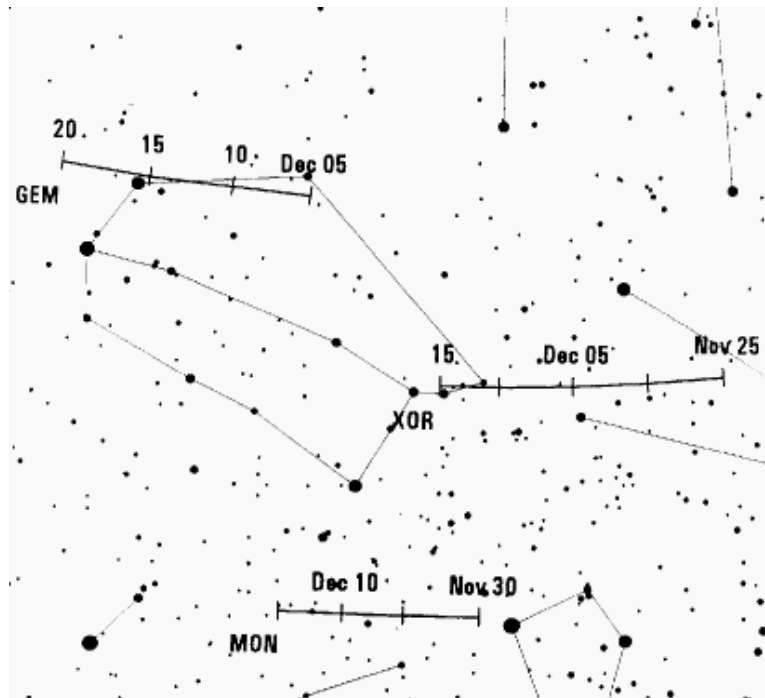
$V = 71 \text{ km s}^{-1}$

$H^b = 128 \text{ km}$ $H^\circ = 87 \text{ km}$

Roditeljsko tijelo: komet 55P/Tempel-Tuttle

Geminidi (GEM)

Geminidi su posljednji veliki meteorski potok u promatrackom kalendaru. Radi se opet o jednom vrlo zanimljivom potoku, vrlo aktivnom i vrlo bogatom sjajnim vatrenim kuglama. Promatrajući ovaj potok, promatrač treba biti spreman i za velika i vrlo ugodna iznenađenja; 1997. godine njemački promatrači (iznad ostatka Europe bio je gusti sloj oblaka) bili su zatečeni neobičajeno jakim maksimumom Geminida, kad su ih jedva uspijevali sve zabilježiti.



Slika 17 Položaj radijanta Geminida

Položaj radijanta: $\alpha = 112.3^\circ$ $\delta = 32.5^\circ$
Promjer radijanta: 5°
Dnevno pomicanje radijanta: $\Delta\alpha = 0.97^\circ$ $\Delta\delta = -0.08^\circ$

Period vidljivosti: 7. XII. – 17. XII.
Maksimum: $\lambda^\circ = 262.0^\circ$ (14. XII.)

Tablica 8 Položaji radijanta Geminida

| Datum | $\alpha/^\circ$ | $\delta/^\circ$ |
|----------|-----------------|-----------------|
| 5. XII. | 103 | 33 |
| 10. XII. | 108 | 33 |
| 15. XII. | 113 | 33 |
| 20. XII. | 118 | 32 |

Karakteristike potoka: $r = 2.6$
 $ZHR^{\max} = 110$
 $V = 35 \text{ kms}^{-1}$
 $H^b = 100 \text{ km}$ $H^e = 80 \text{ km}$

Roditeljsko tijelo: asteroid Phaeton (3200)

DODACI

Rijecnik nazivlja

Kao što sam spomenuo u povijesti Hrvatske meteorske astronomije, u nas se uvriježilo rusko-ceško nazivlje za pojave vezane uz meteorsku astronomiju. Zbog toga u Hrvatsim astronomskim publikacijama cesto dolazi do konfuzije u upotrebi termina. Možda je došao trenutak da pocnemo razmišljati o ispravljanju nepravde nanešene našim bardovima astronomske literature: O.Kuceri i S.Rozgaju, te da se tim terminima vrati dignitet i izvorno znacenje.

BOLID - Izuzetno sjajna vatrena kugla, ciji sjaj prelazi sjaj Mjeseca u cetvrti (sjajniji od -10 m), javlja se sa bljeskovima, raspadom, a cesto i simultanim zvucnim efektima. Problemi su oko tog naziva nastali jer se u posljednjih dvadesetak godina u Hrvatskom jeziku taj naziv koristio sa drugim znacenjem, u odnosu na dominantnu literaturu na Engleskom jeziku. Pod utjecajem astronomskih publikacija na Ceškom jeziku pojavila se ta rijec kod nas u novom, u odnosu na ostak svijeta, nepravilnom znacenju (svaki meteor sjajniji od -4m).

Pogledamo li unatrag, u pocetke astronomske literature kod nas, u besmrtnom djelu "Naše nebo" O.Kucera za veoma sjajne krijesnice (meteore) ne koristi naziv bolid vec vatrena kruglja (vatrena kugla), što se ponavlja i u djelima raznih autora na Hrvatskom jeziku. Bolidom se zovu samo vatrene kugle sjajnije od cetvrti Mjeseca.

METEOR – stručni naziv za krijesnicu (proletušu). To je svjetlosna pojava koja nastaje ulaskom čestice međuplanetarne prašine (meteoroida) velike brzine u Zemljinu atmosferu. Ionizirani zrak u okolici te čestice emitira svjetlost.

METEORIT – veći i čvršće građen meteoroid koji izdrži prolazak kroz Zemljinu atmosferu i dopiše do površine Zemlje.

METEOROID – čestica međuplanetarne prašine koja nastaje trošenjem kometa ili asteroida.

METEORSKI POTOK – roj meteoroida nastalih o istog roditeljskog tijela, koji na istoj orbiti kruže oko Sunca i u najmanje jednoj točki sijeku Zemljinu orbitu.

MIKROMETEORIT – mikroskopski sitna čestica međuzvjezdane prašine koja zaostane u atmosferi nakon izgaranja meteora. Nakon nekog vremena, nošen vjetrovima i zračnim strujama, mikrometeorit dopiše do površine Zemlje.

(Nebeska) KRIJESNICA – zajedno sa proletuša stari je hrvatski naziv za meteor, koji je nepravedno zanemaran i potiskivan, iako su njih koristili i svi ocevi astronomske literature u nas. U posljednjih trideset godina u potpunosti nestao, zamijenjen i istisnut ili stručnim nazivom meteor ili pustom riječju zvijezda padalica, koja dolazi iz srpskog i ruskog jezika.

PROLETUŠA – uz krijesnicu u hrvatskom jeziku riječ korišten pusti naziv za meteor, također u potpunosti i nepravedno zanemaran naziv, (vidi krijesnica).

VATRENA KUGLA (KRUGLJA) – U raznoj se literaturi sreću veoma različite granice vrijednosti sjaja koje neki meteor uvrštavaju u višu klasu, u vatrene kugle (-2 do -6m). Prema FIDAC-u (FIreball DAta Center) vatrena kugla ili engleski *Fireball* je svaki meteor sjajniji od -3 magnitude ili meteor kojemu je naknadno utvrđena apsolutna magnituda veća od -4.

ZVIJEZDA PADALICA – u posljednjih tridesetak godina izraz veoma često korišten u popularnoj astronomskoj literaturi. Ijekaviziran je naziv za krijesnicu (meteor) koji je u naš jezik nedavno došao iz srpskog i ruskog jezika.

Korisne adrese

Visual Commission: Rainer Arlt, Berliner Straße 41, D -14467 Potsdam,
Germany
(e-mail: visual@imo.net)

Fireball Data Center : André Knöfel, Saarbrückerstraße 8,
(FIDAC) D-40476 Düsseldorf, Germany.
(e-mail: fidac@imo.net)

Photographic Commission: Marc de Lignie, Prins Hendrikplein 42,
NL-2264 SN Leidschendam, the Netherlands.
(e-mail: photo@imo.net)

Nikola Biliškov, Livadice 10
52203 Medulin , Hrvatska
(e-mail: bilni@yahoo.com)

IMO-ve stranice: <http://www.imo.net>