

## VIZUALNO OPAŽANJE METEORA

*Priredila: Jasenka Lukša*

### Uvod

Većina nas je, gledajući noćno nebo, vidjela ono što narod zove "zvijezdom padalicom". Taj trenutačni trag kojeg nazivamo meteor pojavi se kada meteorid, objekt veličine od čestica prašine pa do veličine šake, uleti u Zemljinu atmosferu brzinom sve do 70 km/s i izgori. Jedan dio meteorida i ne izgori u atmosferi, već proleti kroz nju.

Meteoridi su sitne čestice međuplanetarnog materijala koje kruže oko Sunca. Zbog velike brzine kojom se kreću, prilikom ulaska u Zemljinu atmosferu užare se i sagore u kratkotrajnom bljesku. Većina tih čestica vrlo je malena. Tako meteori prve zvjezdane veličine nastaju od čestica mase od nekoliko miligrama. Zanimljivo je da najveći broj meteora potječe od kometa. Glavni dio kometa je nekoliko kilometara velika gromada koja se sastoji od smrznutih plinova i prašine. Naziva se jezgro kometa. Kad se komet približi Suncu, na otprilike udaljenost Saturna, zračenje Sunca ga počinje zagrijavati pa zamrznuti plinovi isparavaju s njegove površine. Oni tada napuštaju površinu jezgre i vrlo brzo stvore rep koji komete čini tako lijepima. Sjajni omot plinova koji isparavaju sa jezgre naziva se glava kometa. Iza glave ostaje dugi plinoviti rep. Isparavanjem materijala jezgre, oslobađaju se i čestice prašine zarobljene u njoj pa i one odlaze u rep kometa. Sam plinoviti rep vrlo brzo se rasplina u međuzvjezdanom prostoru, ali čestice kometne prašine dugo ostaju u blizini staze kometa obilazeći oko Sunca po njoj. Tek kroz nekoliko stotina do nekoliko tisuća godina razide se i kometna prašina po čitavom Sunčevom sustavu. Dogodi li se da Zemlja na svom putu oko Sunca siječe stazu nekog kometa ili prođe vrlo blizu nje, ona uđe u oblak kometne prašine zaostao nakon zadnjeg dolaska kometa. Tada dolazi do sudaranja čestica i Zemljine atmosfere. Kako su brzine kojima se ove čestice gibaju prema Zemlji velike (10 do 70 km/s) one kod ulaska u Zemljinu atmosferu sagore ostavljajući pri tom svijetli trag na nebu - meteor.

Najviše meteora opaziti ćemo onog dana kad Zemlja prolazi blizu staze nekog kometa. Kako se čestice kometne prašine s vremenom lagano raspršuju po kometnoj stazi, veći broj meteora vidjeti ćemo i nekoliko dana ranije i kasnije. Svi ti meteoridi putuju po približno paralelnim putanjama oko Sunca, pa promatrač sa Zemljine površine vidi da svi meteori dolaze iz istog smjera. Zbog perspektive, čini nam se da oni izlijeću iz jedne točke na nebeskom svodu koja se naziva radijantom meteorskog roja. Meteorski roj se vremenom raspršuje i gubi u međuplanetarnom prostoru. Sudar Zemlje i ovakvih, raspršenih, meteora koji ne pripadaju niti jednom roju moguć je u bilo kojem trenutku. Takvi meteori ne dolaze iz određenog smjera i nemaju radijant, pa se nazivaju sporadični meteori. U vedroj tamnoj noći bez mjesečine, može ih se opaziti 5 do 10 na sat. Većina ih je slabijeg sjaja. Vrlo rijetko pogodi Zemlju i neki veći komad, mase nekoliko kilograma ili više. Takav meteor za sobom ostavlja vrlo svijetli trag i često završava eksplozijom ili raspadom na nekoliko dijelova. On se naziva bolid, a ako je vrlo sjajan može se opaziti i danju. Vrlo rijetko dijelovi bolida ne sagore do kraja već padnu na Zemljinu površinu. Ostaci koji padnu na Zemljinu površinu nazivaju se meteoriti.

### Opazanje

Opazanje meteora zahtjeva najmanje opreme. Ono je izvrstan način da se upozna početnika sa zvijezdama, zvijezdama i zvjezdanim veličinama □ magnitudama. Opazanje meteora je nešto što čovjek može raditi sam ili kao dio grupe. Ozbiljni promatrači meteora mogu znatno doprinijeti razvoju područja proučavanja meteora, uključujući i pronalaženje meteorita. Isto tako promatranje meteora tijekom jakoaktivnih meteorskih rojeva ili sjajnih bolida može biti iznimno uzbudljivo.

## Potrebna oprema

Za osnovna promatranja meteora, opažač bi morao imati sljedeću opremu:

1. *vreća za spavanje*: tijekom promatranja opažač dulje vrijeme gleda prema nebu, pa je vrat u nezgodnom položaju. Zbog toga se na promatranja nosi vreća za spavanje. Tijekom ljetnih razdoblja se također koristi vreća (većinom ispod promatrača), dok već ljeti ujutro, a naročito u ostalim godišnjim dobima vreća je nužna zbog hladnoće.
2. *sredstvo protiv komaraca i krpelja*: dobro je namazati se sredstvom protiv komaraca koji mogu naprasno prekinuti promatranje.
3. *hranu i vodu*: ukoliko se nalazite na području gdje je teško doći do hrane i vode (sve osim vašeg dvorišta) obavezno je nositi sa sobom vodu i hranu, a za hladnijih razdoblja i čaj. Dobro dođe i kava ili neki sličan napitak za razbuđivanje.
4. *oprema za zapisivanje*: imamo vrlo različiti izbor. Prije se promatralo u grupama od 3-6 osoba, gdje je jedan promatrač uvijek jedan period bio i zapisničar. Međutim, nedavno se uvelo pravilo da svaki promatrač mora voditi zabilješke o svojim opažanjima. Postoji više različitih načina zapisivanja, ali iz vlastitog iskustva mogu reći da su dva najjednostavnija. Prvi je zapisivanje na komad papira savijen kao harmonika, koji se sa svakim upisivanjem odmeta, dok je drugi način (puno elegantniji, ali i skuplji) korištenje diktafona.
5. *baterijska svjetiljka*: ona je vrlo važan dio opreme za promatranje meteora. Kad čovjek promatra u mraku veća je mogućnost da izgubi, zametne ili zagubi dio opreme nego danju. U tim slučajevima koristimo baterijsku svjetiljku (za koju je dobro uzeti i rezervno punjenje), ali samo ako ta svjetiljka ima crveni filter ispred bijele žarulje, ili ako ima crvenu žarulju. Naime, ljudskom oku je potrebno neko vrijeme da se adaptira (privikne) na slabo osvijetljena područja □ npr. ako izađete iz osvijetljene prostorije, oku je potrebno oko 15 minuta da se privikne na taman ambijent (kod obrnute situacije oko reagira za svega par sekundi), a ako je oko osvijetljeno crvenim svjetlom, treba mu oko 20-30 sekundi za adaptaciju.
6. *odjeća*: treba se obući slojevito, barem bi trebali imati dva puta više odjeće nego što je potrebno.
7. *dalekozor*: dalekozor 7x50 ili sličan, vrlo je poželjan zbog traženja meteorskih tragova, mada se ne svrstava u standardnu opremu za opažanje meteora.

Za opažanje meteora nije potrebna neka posebna oprema. Zbog toga su promatranja meteora izrazito pristupačna, jer ne zahtijevaju velike novčane izdatke. Najvažnije je otići daleko od naselja da se izbjegne svjetlosno zagađenje. Iz istog razloga najbolje je za opažanje odabrati noć bez mjesečine, jer sjaj Mjeseca znatno smanjuje broj meteora koje možemo opaziti. Na promatračkom mjestu treba se utopeliti biti vrlo strpljiv. Bez naprezanja očiju treba gledati dio neba oko 45° daleko od radijanta u smjeru zenita, a može se opažati i samo područje zenita, bez obzira na položaj radijanta. Većina opažača meteora upotrebljava vreće za spavanje jer se one najlakše nose po terenu. Na zemlju, pod vreću, stavlja se prostirka od jačeg najlona, a na njima tvrdu spužvu ili stiropor. Očekuje li se jača rosa, vreća se pokriva najlonom i odozgo. Ovakvo opažanje treba pažljivo pripremiti, pogotovo ako se opaža izvan naselja. Noći su i ljeti hladne, pa se u vreću uvlači obučen, često puta i u zimskoj jakni i sa zimskom kapom na glavi! Zimi se opaža samo sa lako pristupačnih mjesta i u većoj grupi u kojoj svakako mora biti barem par iskusnih opažača. U to doba godine promatranje se prekida na prvi znak hladnoće, jer se nepokretno tijelo vrlo lako i brzo pothladi, a onda su posljedice po zdravlje ozbiljne.

## Podaci koji se moraju zabilježiti o meteoru:

1. **vrijeme kada je meteor viđen**: točnost vremena na minutu je dovoljna. Upotrijebite točan signal za usklađivanje satova, kako bi vrijeme viđenja meteora bilo čim točnije. Također je važno napomenuti da se vrijeme prilikom zapisivanja može pisati kao srednjoeuropsko vrijeme, međutim prilikom upisivanja u tablice to se vrijeme mora preračunati u UT (svjetsko

vrijeme). U Hrvatskoj je vrijeme tijekom zime za 1 sat veće od UT-a, dok je za vrijeme ukaznog ljetnog vremena kod nas vrijeme za 2 sata veće od UT-a, što znači da tijekom zime moramo oduzeti 1 sat, a tijekom ljeta oduzeti 2 sata od našeg srednjoeuropskog vremena da dobijemo UT.

2. *radijant*: potrebno je navesti da li meteor pripada nekom roju (tj. da li je Perzeid, Orionid, Leonid i sl.) ili je sporadičan. Ukoliko pripada nekom roju onda se zapiše kojem: za Perzeid "P" ili "PER", Leonid "L" ili "LEO", itd, dok je za sporadičan meteor uvijek oznaka "S". U vrijeme promatranja osim "glavnih" rojeva meteora postoje i manje (slabije) aktivni rojevi, pa u jednom trenutku možete imati po nekoliko aktivnih rojeva čije meteore morate svrstati u pojedini roj.
3. *sjaj*: potrebno je procijeniti sjaj meteora uspoređujući ga a sjajem (magnitudom) zvijezda oko njega. Usporedite, a onda procijenite magnitudu sa točnošću od cca. 0,5<sup>m</sup>.

### Manje važni podaci koji se mogu, ali i ne moraju zabilježiti:

1. *boja*: meteori nisu samo bijeli. Viđeni su i crveni, narančasti, žuti, zeleni i plavkasti meteori. Boja često pokazuje kemijski sastav meteora kao i temperaturne promjene čestica meteora prilikom prolaska kroz Zemljinu atmosferu.
2. *duljina*: procijenite koliko je meteor putovao nebom (u stupnjevima). Najbolji način za to je da odaberete vlastitu mjeru udaljenosti. Na primjer, pronađite Merak i Dubhe, one dvije zvijezde u Velikom Medvjedu pomoću kojih se određuje smjer Sjevernjače. Njihova udaljenost je 5°. Ispružite ruku i pokušajte vidjeti koliko prstiju stane u prostor između te dvije zvijezde. Recimo da je to 3 prsta. Svaki put kada ispružite ruku znate da udaljenost koju možete pokriti sa tri prsta iznosi 5°. Na taj način procjenjujemo duljinu meteora.
3. *trag*: neki meteori imaju magloviti trag. Procijenite koliko dugo se trag mogao vidjeti, kao i duljinu u stupnjevima. U ovom slučaju možete upotrijebiti i dvogled kako bi bolje vidjeli trag i strukturu traga. Mjerite li vrijeme traga kroz dvogled, mora se mjeriti i vrijeme istog traga vizualno (bez dvogleda). Ukoliko je aktivnost meteora slaba, stignete i nacrtati (skicirati) trag. Općenito, bilo bi dobro svakako upisati podatak o postojanju traga za pojedini meteor, dok se podaci o samom tragu mogu upisati ako imate vremena.
4. *napomena*: pod napomenu dolaze neke neobičnosti o samoj putanji meteora ili slično.

Opažanja se odvijaju u periodima od jednog sata, s tim da bi tijekom tog jednog sata trebalo biti barem 10 minuta pauze za razgibati se, nešto pojesti ili popiti, ili samo za odmoriti oči od napora gledanja. Kada radimo pauze, njihov početak i kraj zapisuje se preko cijelog reda tako da bude uočljiv. Prije svakog perioda promatranja potrebno je odrediti graničnu magnitudu, te atmosferske prilike za promatrano područje neba. Granična magnituda određuje se na više načina. Najpouzdanija je metoda omeđenih područja u zviježdima, gdje se brojanjem zvijezda u omeđenim područjima određuje granična magnituda. Drugi jednostavniji način je pronaći najmanje sjajnu zvijezdu, pa iz karte pogledati koje je magnitude. Dakle, prije svakog početka promatranja poželjno je odrediti graničnu magnitudu, ali ukoliko se granična magnituda drastično promijeni tijekom samog promatranja, posebno se zabilježi njena promjena. Također se upisuje i oblačnost neba (samo za dio neba koji se opaža, a ne za cijelo nebo), te smetnje od drveća ili slično. Ukoliko oblačnost neba pređe 20% potrebno je prekinuti promatranje, jer će biti veći broj meteora koji se neće vidjeti, od onih koje ćete zamijetiti.

Jedan od najpogodnijih rojeva za opažanje su Perzeidi. Njihov maksimum pada oko 12. kolovoza a meteori iz tog roja mogu se opaziti i nekoliko dana prije i poslije ovog datuma. U noći maksimuma moguće je opaziti stotinjak Perzeida na sat. Od ostalih poznatih rojeva ističu se Kvadrantidi (maksimum 3. siječnja), Geminidi (maksimum 13. prosinca) i Orionidi (maksimum 21. listopada).

U nastavku je dana tablica većih rojeva meteora:

<i>Roj</i>	<i>Period aktivnosti</i>	<i>Maksimum</i>	<i>ZHR (max)</i>
<b>Kvadrantidi</b>	28.12. □ 7.1.	3.1.	45-200
<b>Liridi</b>	16.-25.4.	21.4.	10-20
<b>Eta akvaridi</b>	21.4. □ 12.5.	5.5.	20+
<b>Južni delta akvaridi</b>	14.7.-18.8.	29.7.	15-20
<b>Perzeidi</b>	17.7.-24.8.	12.8.	50-60
<b>Orionidi</b>	15.-29.10.	21.10.	25-30
<b>Leonidi</b>	14.-21.11.	17.11.	10-15+
<b>Geminidi</b>	6.-19.12.	13.12.	50-100

### Obrada promatranja

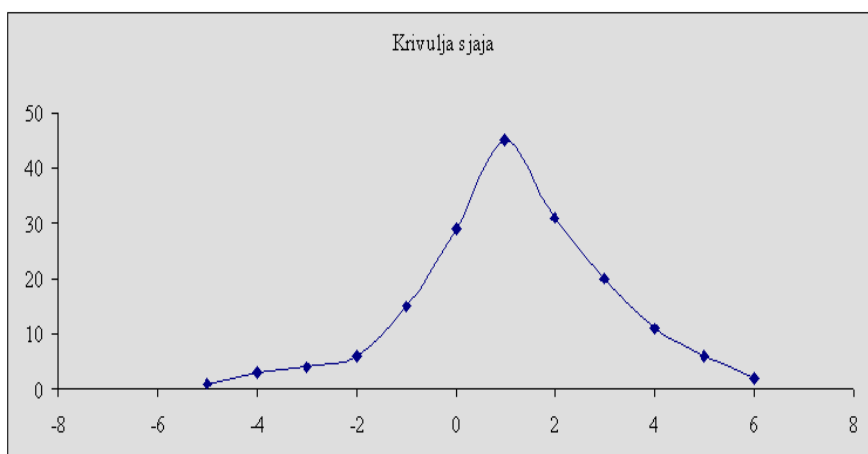
Nakon promatranja i upisivanja zapisanih ili snimanih podataka o meteorima, slijedi obrada podataka.

#### *Indeks aktivnosti:*

ako je u tijeku promatranja postojala aktivnost nekog roja, tada se određuje indeks aktivnosti za taj roj. Indeks aktivnosti je omjer broja meteora iz određenog radijanta i ukupnog broja meteora.

#### *Raspodjela po sjaju:*

Raspodjela po sjaju pokazuje koliko je bilo viđeno meteora određene magnitude. Pregledno se raspodjela po sjaju može prikazati grafom, a primjer jednog takvog grafa je ovdje priložen.



Iz raspodjele po sjaju može se izračunati prosječna magnituda meteora:

$$\bar{m} = \frac{\sum_i^N n_i m_i}{N}$$

gdje je:  $n_i$  broj meteora magnitude  $m_i$ , a  $N$  je ukupan broj meteora kojima je određena magnituda. Prosječna magnituda i raspodjela po sjaju izračunavaju se odvojeno za sporadične meteore i posebno za meteore roja. Ako se promatra roj čija aktivnost traje neko dulje vrijeme i dovoljno je velika, dobro je promatrački period podijeliti u nekoliko manjih, napraviti raspodjelu po sjaju i izračunati prosječnu magnitudu nezavisno za svaki interval, kako bi se dobila eventualna promjena raspodjele i magnituda unutar trajanja aktivnosti roja.

*Određivanje satne frekvencije:*

Iz podataka se može izračunati i satna frekvencija za pojedini roj po formuli:

$$HR = \frac{60 \cdot n}{t}$$

gdje je:

$n$ =ukupan broj meteora iz tog roja

$t$ = ukupno vrijeme promatranja iskazano u satima

Satna frekvencija određuje se i za sporadične meteore (tada je  $n$  ukupan broj sporadičnih meteora viđenih u vremenu  $t$ ). Uzmemo li u obzir korekcije za oblačnost ( $k_o$ ) i prozračnost atmosfere ( $k_m$ ), satna frekvencija iznosi:

$$HR = \frac{60 \cdot n}{t} \cdot k_m \cdot k_o$$

Vrijednosti za  $k_o$  i  $k_m$  prikazane su u sljedećim tablicama.

Korekcija za oblačnost ( $k_o$ ):

Oblačnost %	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Oblak	1,00	1,10	1,23	1,39	1,61	1,91	2,31	3,05	4,41
Sumaglica	1,00	1,10	1,23	1,39	1,59	1,87	2,27	2,89	3,95

Korekcija prozračnosti atmosfere ( $k_m$ ) određuje se prema graničnoj zvjezdanoj veličini  $m_g$

$m_g$	6,4	6,3	6,2	6,1	6,0	5,9	5,8	5,7	5,6
$k_m$	0,68	0,75	0,82	0,91	1,00	1,11	1,21	1,32	1,48
$m_g$	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1	5,0	4,5	4,0	3,5
$k_m$	1,63	1,80	2,00	2,22	2,46	2,73	4,7	8,5	16

Kada određujemo frekvenciju nekog roja, potrebno je izračunati takozvanu *zenitnu satnu frekvenciju (ZHR)*. ZHR predstavlja frekvenciju koju bi imao roj da se radijant nalazi u zenitu. Kada se radijant nalazi na zenitnoj udaljenosti  $z$ , na plohu  $S$  pada  $n$  meteora (vidi sliku). Kada bi radijant bio u zenitu, isti broj meteora pao bi na plohu  $S'$ . Kako je  $S' = S \cdot \cos z$ , uz pretpostavku da je raspodjela materije u meteorskom roju jednolika, pri zenitnoj udaljenosti radijanta  $z_r$  vrijedi formula:

$$ZHR = \frac{HR}{\cos Z_r}$$

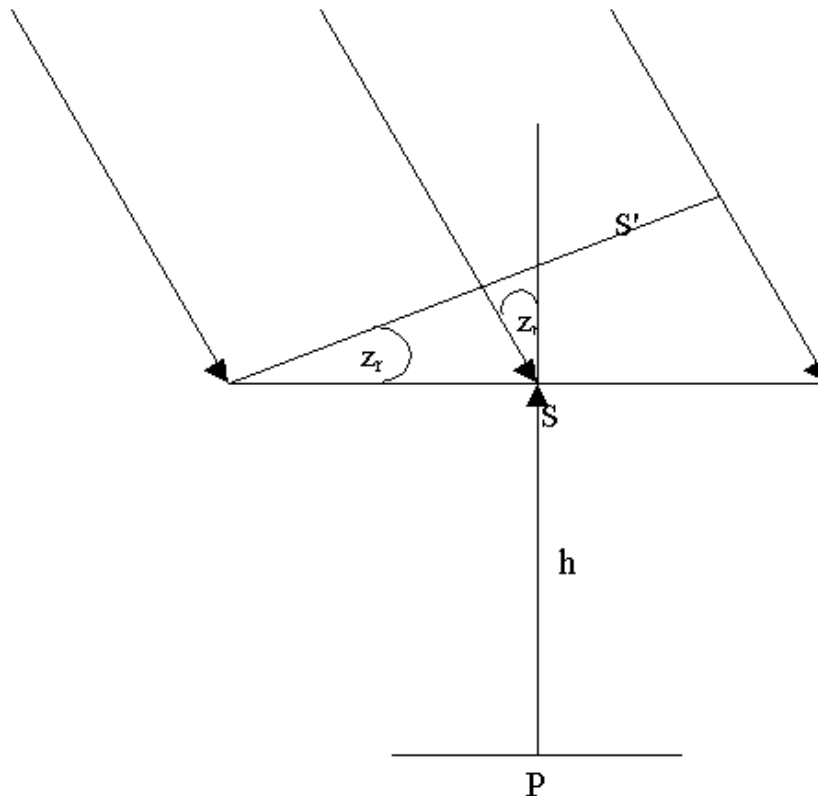
gdje je  $HR$  satna frekvencija roja, a  $ZHR$  zenitna satna frekvencija roja.

Kako se  $z_r$  mijenja tijekom promatranja, konačna formula za  $ZHR$  ima složeniji oblik koji glasi:

$$ZHR = \frac{HR}{\cos^x(Z_r - y)}$$

gdje su  $x$  i  $y$  konstante (obično se uzima  $x=1$  i  $y=6^\circ$ ), a  $Z_r$  je zenitna udaljenost radijanta na polovici promatračkog intervala.

Kada se izračuna zenitna satna frekvencija za svaki dan tijekom promatranja, vrijednosti se ucrtavaju u graf gdje je na X-osi datum ili longituda Sunca, a na Y-osi  $ZHR$ . Tada se iz grafa može odrediti vrijeme maksimalne aktivnosti roja.



Slika - korekcija frekvencije roja na zenitnu frekvenciju ( $P$  - promatrač,  $h$  - visina na kojoj se pojavljuju meteori,  $z_r$  - zenitna udaljenost radijanta,  $S$  - promatrana površina,  $S'$  - presjek roja iz kojeg dolaze meteori na površinu  $S$ )

### Za iskusnije promatrače

Iskusniji promatrači mogu se iskušati u određivanju položaja radijanata. Naime, pri promatranju kojem je cilj određivanje položaja radijanta meteori se ucrtavaju u kopije gnomonskih karata. Gnomonska projekcija omogućuje ucrtavanje meteora kao ravnih linija. Zbog toga su zvijezda prilično izobličena, pa takav tip promatranja zahtjeva od promatrača veliku snalažljivost i dobru orijentaciju na nebu. Tek nakon dulje vježbe promatrač će steći dovoljnu spretnost da brzo i točno ucrtava položaj i putanju meteora. Promatranje se obavlja tako da crtač, nakon što je vidio meteor, bilježi vrijeme i redni broj meteora i što je moguće točnije ucrtava u kartu njegov položaj i duljinu. Uz to, valja strelicom naznačiti smjer kretanja meteora i uz meteor napisati redni broj. Kad je to obavio, crtač zapisuje pojedine

fizikalne karakteristike kao i kod normalnog vizualnog promatranja. Kako je brzina meteora važan kriterij za određivanje pripadnosti radijantu, mora se zabilježiti i prividna brzina meteora (b □ brz, sb □ srednje brz, s □ spor). To je važno jer se meteori blizu radijanta kreću sporo, a što su dalje od radijanta to su brži, pa ako imate brzi meteor blizu radijanta, koji ima dobar smjer i izlazi prividno iz radijanta, on ipak nije iz tog roja jer je prebrz. Svaki meteor mora biti na karti obilježen brojem, inače promatranje gube vrijednost jer se onda meteori ne mogu usporediti sa ostalim podacima zapisanim u poseban formular.

Prilikom promatranja, crtač mora gledati područje koje je u središtu gnomonske karte jer je projekcija prilagođena upravo takvom načinu promatranja. Na svakoj karti treba upisati redni broj karte, datum i redni broj promatračkog intervala. Također treba paziti da se na jednu kartu ne ucrtava previše meteora kako ne bi nastala zbrka pri obradi.

### ***Obrada promatračkog materijala***

Prvo je potrebno precrtati na paus-papir sve meteore za koje postoji mogućnost da dolaze iz jednog radijanta. Zatim treba produljiti staze meteora u smjeru suprotnom od njihova kretanja. Na taj način eliminiraju se meteori čije se staze sijeku daleko od grubo određenog položaja radijanta. Kod eliminiranja meteora potrebna je tolerancija od nekoliko stupnjeva jer radijant nije točna na nebeskoj sferi, već postoji stanovita disperzija radijanta.

Meteori koji su na ovaj način određeni, još uvijek ne moraju biti iz radijanta. Ako opazimo dugačak i brz meteor koji izlazi iz smjera radijanta, a pojavio se u njegovoj blizini, možemo biti sigurni da ne pripada roju. U problematičnim slučajevima možemo odlučiti prema ostalim fizikalnim značajkama, jer meteori iz istog roja imaju približno slične karakteristike. Tako na primjer Perzeidi imaju tipičan bljesak na kraju, Liridi su većinom sjajni, dok Kaprikornidi imaju velike duljine i tragove. Na taj način ćemo eliminirati meteore koji ne pripadaju tom roju.

Kada smo odabrali meteore koji pripadaju određenom roju, možemo preći na proučavanje položaja njegovog radijanta. One meteore koji su prošli selekciju ucrtamo zajedno u gnomonsku kartu. To učinimo posebno za sve radijante koji su zamijećeni u promatračkom području. Nakon toga produžimo tragove meteora i očitamo točku koja je najbliža sjecištima tragova i dobili smo približne koordinate radijanta.