VEGA

43

Aprilie 2003

INSTITUTUL ASTRONOMIC AL ACADEMIEI ROMÂNE

organizeazã la Bucuresti
Sesiunea de comunicãri

dedicatã împlinirii a

125 ani de la nasterea lui Constantin Popovici

Sesiunea va avea loc în zilele de 15 si 16 mai 2003 la sediul Institutului din str. Cutitul de Argint 5.

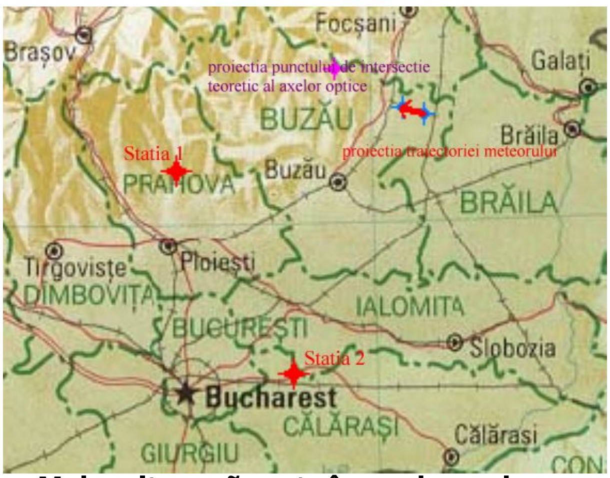
Daca doriti sã prezentati o comunicare, vã rugãm sã completati formularul anexat si sã-l trimiteti pânã la data de 15 aprilie a.c. pe adresa de mai jos.

Înscrierea poate fi fãcuta si on-line, la http://www.astro.ro/sesiune2003.html.

Director,

Dr. Magda STAVINSCHI

Un intrus în spatiul aerian al României luat "în vizor"



Mai multe amãnunte în pagina a doua

Cuprins:

OBSERVATII LA METEORI ÎN DUBLÃ STATIE

Astroclubul Bucuresti
http://www.astroclubul.org

Redactia

Sonka Adrian bruno@astroclubul.org
Alin Tolea alintolea@yahoo.com
Valeriu Tudose tudosev@yahoo.com

Observatii la meteori în dublã statie

Reducerea observatiilor

de Radu Gherase

De ce fotografie? Si de ce dublã statie?

Sunt convins cã spectacolul leonidelor de anul trecut a fost de neuitat pentru cei care l-au observat în conditii meteo decente. Ca de obicei, la noi în tarã s-au fãcut în special observatii vizuale; un lucru de altfel normal, dat fiind cã nu este necesar aproape nici un efort deosebit din partea observatorului (exceptând bineînteles lupta cu frigul si cu oboseala). Din pãcate însã, informatiile utile rezultate în urma acestor observatii sunt putine si au un mare grad de incertitudine. De aceea se fac prelucrãri statistice si cu cât baza de date (numãrul observatiilor) este mai mare, cu atât mai bine. Bine...însa insuficient! în acest caz, informatia cheie continuta în orice raport privind activitatea meteoricã (traiectoria aparentã a meteorilor) tinde sã fie si cea mai incertã. De ce? Ne este mai usor sã analizãm prin contrast - de exemplu - luminozitatea unui obiect (magnitudinea) decât sã determinãm traiectoria sa, mai ales atunci când obiectul respectiv se deplaseazã cu o vitezã relativã foarte mare si nu avem multe puncte de reper. Pentru a compensa acest neajuns se poate folosi concomitent un sistem de calcul pe care sa ruleze un program special (recomand programul “Meteor”, îl gãsiti pe internet: *www.imo.net*) sau, cel mai bine, se pot face alt fel de observatii: cum ar fi cele fotografice sau cele video. Toate acestea sunt accesibile în prezent amatorilor. Dar hai sã zicem cã se gasesc putini amatori în România care sa umble noaptea cu camere video de mii de euro. Rãmânem deci cu solutia cea mai ieftinã: aparatul foto (cu film adecvat, trepied, declansator etc.).si alegerea nu e deloc rea.

“Amprenta” meteorilor pe o peliculã foto reprezintã o sursã de informatie permanentã si usor de prelucrat, chiar dacã nu pot fi înregistrati astfel decât o micã parte din meteorii vizibili cu ochiul liber în câmpul respectiv. Deseori se pot obtine date mai precise si mai importante dintr-o imagine cu un singur meteor, decât din reducerea unor observatii vizuale cuprinzând zeci de meteori. Putem afla, de exemplu: traiectorie aparentã, vitezã (posibil atunci când instalãm o moriscã cu vitezã de rotatie adecvatã si constantã în fata obiectivului), magnitudine, spectru (posibil prin interpunerea unui element dispersiv – de preferat o retea de difractie). în cazul bolizilor, putem obtine un bonus spectaculos: urma în atmosferã. Desigur, trebuie notate si datele specifice, cum ar fi: sensibilitatea filmului, locul, data, durata expunerii (timpul de început si de sfârsit al expunerii), momentul aparitiei meteorului (vorbim de fotografie neghidatã), focala si deschiderea obiectivului, transparenta cerului etc.

Bun, dar ce este si pentru ce fotografierea în dublã statie?

Fotografierea în dublã statie reprezintã observarea simultanã a aceleiasi zone din atmosferã (situatã la altitudini de 90 – 100 km, unde meteorii ating de obicei strãlucirea maximã) de cãtre douã statii foto aflate în locuri diferite. Scopul acestei actiuni este de a “prinde” acelasi meteor din perspective (unghiuri) diferite. La ce bun? Pentru a calcula traiectoria realã a meteorului respectiv în spatiu, si apoi pentru a determina elementele sale orbitale. Cum? Prin intersectarea planelor ce trec, succesiv, prin fiecare statie si prin traiectoria aparentã a meteorului. si acum lucrurile încep sã se complice: cunoastem faptul cã distanta dintre statii trebuie sã fie între 25 km si 200 km. Bãnuim de ce: la o distantã mai micã de 25 km paralaxa obtinutã este prea micã, iar la o depãrtare de 200 km ar trebui sã îndreptãm camerele efectiv una spre cealaltã, adicã la orizont. De obicei se aleg distante între 40 si 120 km.

Exemplul

Asa cum probabil cunoasteti deja, în acea noapte memorabilã de noiembrie (18 spre 19, 2002), autorul acestui articol si cu Zoltan Deak am organizat o serie de observatii fotografice în dublã statie (vezi Vega nr. 36). Din pãcate, rezultatele au fost sub asteptãri. De vinã a fost vremea capricioasã. Mai întâi s-a stricat morisca, la care lucraserã Zoli si Eugen Bãlan. Iar apoi, nori, nori... nu foarte grosi, dar suficient pentru ca în combinatie cu luna plinã sã rezulte aproape o catastrofã (pe clisee). Totusi... am avut un rezultat! Unul singur, îndeajuns pentru a realiza o performantã în premierã nationalã, cred eu! Am fotografiat acelasi meteor (chiar bolid!) din douã unghiuri sensibil diferite. si, pe cliseele respective se mai pot observa, cu greu, dar distinct, dârele unor stele în miscarea lor aparentã.

Voi folosi acest exemplu în continuare pentru a putea explica mai bine modul în care se pot organiza si reduce astfel de observatii în general.

Planificarea observatiilor

În privinta alegerii locului de observatie nu sunt prea multe de spus. Este bine sã fie aleasã o zonã fãrã poluare luminoasã, dar de obicei locatia se stabileste dupã posibilitatea fiecãrui observator în parte. si abia apoi începem sã facem calcule. Mai întâi, distanta între statii:

Coordonate geografice:
statia1 (Radu Gherase): λ_1=45,20°N; ϕ_1=26,05°E
statia2 (Zoltan Deak): λ_2=44,52°N; ϕ_2=26,60°E

Distanta unghiularã:

$$d_u = \arccos\left(\sin(\varphi_2)\cdot\sin(\varphi_1) + \cos(\varphi_2)\cdot\cos(\varphi_1)\cdot\cos(\lambda_2-\lambda_1)\right)$$

$$d[km] = 60 \frac{[minute\ arc]}{[grad\ arc]} \cdot 1{,}852 \frac{[km]}{[minut\ arc]} \cdot d_u[grade\ arc]$$

în cazul nostru, d=87,1 km.

După aceea stabilim intersectia directiilor axelor optice ale celor două camere foto, la o anumită altitudine (100 km recomandat pentru leonide) deasupra unui punct de proiectie pe suprafata terestră, punct definit prin ϕ_p–latitudine, respectiv λ_p– longitudine. În situatia aceasta, alegem o pereche (ϕ_p, λ_p) astfel încât să ne orientăm camerele într-o pozitie cât mai convenabilă si să acoperim în câmp cam aceeasi suprafată la altitudinea dată. Pentru a ne usura sarcina putem folosi un program dedicat de calcul numit QRICHT, descărcabil de pe situl celor de la IMO (www.imo.net). Odată stabilită orientarea camerelor (centrul câmpului cunoscut atât prin coordonate azimutale cât si ecuatoriale – la un moment dat), putem trece la actiunea propriu-zisă, adică la fotografierea simultană planificată.

Pentru exemplul ales: h_p=100 km; ϕ_p=45° 35'; λ_p=26° 50'.

De mentionat faptul că ambele camere au avut obiective cu focala de 50 mm, acoperind un câmp de (27,0 x 39,6)° ; ca un ajutor, iată formula pentru determinarea câmpului:

$$C = 2 \cdot \arctan\left(\frac{S}{2F}\right)$$

, unde C = dimensiunea câmpului (în grade),S = dimensiunea peliculei foto exprimată în mm (de exemplu 24 x 36 mm), F = focala obiectivului (în mm).

Din calcule rezultă, mai departe:

-pentru statia 1:azimut=235,0° ; elevatie=53,3°.

-pentru statia 2:azimut=188,7° ; elevatie=39,8°.

Dacă utilizăm pentru orientare un atlas stelar (constelatiile), atunci ne bazăm pe coordonatele ecuatoriale în momentul primei expuneri (s-au făcut expuneri de 25 minute cu pauză de 5 minute). Oricum, camerele vor rămâne neclintite de-a lungul întregii sesiuni de observatii.

Teoretic, am avut la 19.11.2002, ora 0:00 TLR (18.11.2002, ora 22:00 TU):

-statia 1: α_1 = 7h 22min ; δ_1 = 54° 07'.

-statia 2: α_2 =11h 51min ; δ_2 = 82° 00'.

Reducerea observatiilor

Măsurarea cliseelor si stabilirea pozitiilor exacte ale stelelor de referintă

Ok, după atâta chin, avem un rezultat. Două clisee cu acelasi meteor, văzut diferit. Ce facem cu ele? Nimic neobisnuit, măsurăm si iar calculăm... în primul rând, încercăm să stabilim cu exactitate ce stele si-au lăsat amprenta sub formă de dâre pe cliseele noastre. După aceea, alegem câteva dintre ele (minim trei) si le calculăm – stiind declinatia lor – raza r până la polul ceresc (în grade). în continuare, este recomandat să scanăm cliseele, pentru a fi măsurate usor si precis. Am decis să scanăm la o rezolutie de 1200 dpi. Imaginile digitalizate corespunzătoare au avut dimensiuni de aproximativ 1133 x 1700 pixeli, cu foarte mici variatii. De aici, putem transforma direct mărimea razei r din grade în noua unitate cu care măsurăm cliseul – pixeli, stiind că la 39,6 grade corespund un număr de 1700 pixeli. Următorul pas este să verificăm dacă dârele stelelor respective sunt complete (au lungimea necesară). Pentru aceasta, sunt notate duratele expunerilor pentru fiecare statie în parte. Eu am expus atunci timp de 25 minute, Zoli timp de 27 minute, pornind amândoi de la ora 2:00:00 TU (19.11.2002). tinând cont că o zi siderală are 23,93444 ore (timp în care stelele descriu un cerc complet de 360°), se calculează arcele descrise de stele pe durata expunerilor noastre. Astfel, lungimea teoretică (în pixeli) a unei dâre va fi:

$$l_t^{pixeli} = \frac{\pi \cdot r^{pixeli}}{180^\circ} \cdot l_{arc}^{grade}$$

Iată rezultatele calculelor pentru fiecare statie, sub formă de tabel:

Stația 1:

stea	raza [grade]	raza [pixeli]	lungime dâră [grade]	lungime teoretică dâră [pixeli]
εUma	34.1	1463.889	6.26712	160.12
αUma	28.26	1213.182	6.26712	132.7
γUma	36.33	1559.621	6.26712	170.59

Stația 2:

stea	raza [grade]	raza [pixeli]	lungime dâră [grade]	lungime teoretică dâră [pixeli]
βUmi	15.83	679.571	6.768488	80.28
γUmi	18.25	783.460	6.768488	92.55
αUmi	0.716	30.737	6.768488	3.63

Bun, trecem la măsurătorile propriu-zise acum, luând ca origine coltul din stânga sus al imaginii.Vom măsura coordonatele punctelor de început si de sfârsit ale dârelor. Calculăm apoi lungimea reală a dârelor, folosind diferentele pe cele două axe de coordonate si teorema lui Pitagora – rezultatele obtinute de fapt subestimează un pic valoarea reală (se “liniarizează” dârele), dar nesemnificativ. în sfârsit, mai avem de calculat abaterile de la valoarea teoretică si pozitia exactă a stelelor respective în momentul aparitiei meteorului (la ora 2:14:10 TU).

Din nou, tabelele cu calcule:

Stația 1:

x_{i1}	y_{i1}	x_{f1}	y_{f1}	lungime reală dâră [pixeli]	eroare relativă [%]
568	1048	637	927	139.29	-13.01
557	385	570	263	122.69	-7.54
822	748	866	602	152.49	-10.61

factor expunere	$x_{1'}$	$y_{1'}$
0.566667	607	979
0.566667	564	316
0.566667	847	665

Staţia 2:

x_{i2}	y_{i2}	x_{f2}	y_{f2}	lungime reală dâră [pixeli]	eroare relativă [%]
1506	490	1520	419	72.37	-9.86
1570	613	1597	535	82.54	-10.82
807	298	806	302	4.12	13.55

factor expunere	x_{2*}	y_{2*}
0.524691	1513	453
0.524691	1584	572
0.524691	806	300

Câteva observatii cu privire la tabelele de mai sus:
-datele de pe fiecare rând corespund la câte o stea, selectatã anterior;
-factorul de expunere a fost calculat raportând timpul scurs între începutul expunerii si aparitia meteorului la timpul total de expunere;
-cum se calculeazã coordonatele stelelor în momentul aparitiei meteorului:

Fie c o coordonatã oarecare (x sau y). Dacã cf >ci , atunci: c* = ci + factor expunere (cf – ci); Dacã cf <ci , atunci: c* = ci – factor expunere (ci – cf);

Calculul coordonatelor ecuatoriale ale punctelor de început si sfârsit ale dârei meteorului. Ecuatiile lui Turner

Metoda lui Turner este folositã pe scarã largã în mediile universitare pentru a calcula coordonatele stelare ale traiectoriei aparente a meteorului, utilizând pozitiile mãsurate ale stelelor de reper de pe clisee. Câteva sfaturi cu privire la acest lucru le-am aflat din celebra carte a lui Matei Alexescu, “Laboratorul astrofizicianului amator”, unde metoda este prezentatã în paginile 164 – 166 , din pãcate foarte sumar si cu putine explicatii. Oricum, chiar si asa poate fi înteleasã si aplicatã. Voi încerca totusi sã explic în acest articol cum am procedat, pentru o întelegere mai bunã, sper eu. Mai întâi, avem nevoie de coordonatele ecuatoriale ale centrului cliseului analizat (α_0, δ_0). Aici intervine una dintre problemele cele mai mari, pe care trebuie sã o rezolvãm cât mai corect, pentru cã tinde sã fie factorul decisiv în privinta acumulãrii erorilor de calcul ulterioare. Existã mai multe posibilitãti de a afla pe α_0, si δ_0 :
-se poate analiza pozitia centrului în raport cu pozitiile celor mai apropiate stele de reper , folosind o hartã la scarã adecvatã;
-în loc de centrul geometric (dat de intersectia diagonalelor cliseului), se ia centrul de greutate al stelelor de reper, adicã:

$$\alpha_0 = \frac{1}{n} \cdot \sum \alpha_j \qquad \delta_0 = \frac{1}{n} \cdot \sum \delta_j$$

-se alege steaua cea mai apropiatã de centru si se identificã coordonatele ei cu cele ale centrului.

În cazul pe care îl prezint, am folosit prima variantã. Desigur, centrul câmpului a fost greu de stabilit, cliseele sunt de foarte proastã calitate, practic nu am avut de ales atunci când am stabilit stelele de reper. Dar, ajutat de programul de planetariu Skymap 9, am iesit destul de bine din impas:
Statia 1: α_{10}=11h 40'=175°, δ_{10}=53°57'= 53,95° ;
Statia 2: α_{20}= 20h12'=303°, δ_{20} =83°49' = 83,82° ;

Cred cã ambii observatori meritã felicitati. Amândoi au orientat camerele cu o precizie de invidiat (sã nu uitãm, α_0 corespunde momentului 2:14:10)!

Sã trecem mai departe. Având acum la dispozitie coordonatele ecuatoriale aparente ale celor trei stele, precum si cele ale centrului cliseului, putem calcula mãrimile H, ξ si η , pentru fiecare stea în parte :

$$H_j = \sin(\delta_j) \cdot \sin(\delta_0) + \cos(\delta_j) \cdot \cos(\delta_0) \cdot \cos(\alpha_j - \alpha_0)$$

$$\xi_j = \frac{\cos(\delta_j) \cdot \sin(\alpha_j - \alpha_0)}{H_j}$$

$$\eta_j = \frac{\sin(\delta_j)\cos(\delta_0) - \cos(\delta_j)\sin(\delta_0)\cos(\alpha_j - \alpha_0)}{H_j}$$

unde j = 1, 2, 3.

Doar o observatie referitoare la ξ si η: ele reprezintã axe ce definesc un sistem de coordonate aflat în planul cliseului nostru, originea sa fiind identicã cu centrul cliseului.

Sistemul respectiv este cunoscut mai ales sub numele de sistem de coordonate tangentiale. Desi ar mai fi multe detalii interesante de prezentat, nu-mi propun în prezentul articol sã expun exagerat de multe “picanterii” matematice. Pentru cei ce doresc sã afle mai multe informatii, le pot gãsi în referintele bibliografice de la sfârsitul articolului.

Iar acum, ultima verigã din “lantul slãbiciunilor”: legãtura între coordonatele mãsurate x si y si perechea (ξ si η), sau mai bine spus **legãtura matematicã între coordonatele mãsurate pe cliseu si coordonatele ceresti**:

$$\frac{\xi_j - x_j}{F} = x_j a + y_j b + c$$

$$\frac{\eta_j - y_j}{F} = x_j a' + y_j b' + c'$$

în formulele de mai sus F este distanta focalã a obiectivului utilizat – atentie: exprimatã în aceleasi unitãti de mãsurã ca si pentru valorile lui x si y (în exemplul nostru – pixeli).

Având un obiectiv cu f=50 mm la ambele camere si cu 1700 pixeli corespunzãtori la 36 mm lungime peliculã foto:

F[pixeli]= 1700[pixeli]Xf[mm]/36[mm]=2361[pixeli]

Rezolvãm, pe rând, cele douã sisteme de 3 ecuatii cu 3 necunoscute (a,b,c, respectiv a',b',c') - numite si constantele cliseului sau coeficientii ecuatiilor Turner, dupã numele astronomului englez care a stabilit aceste relatii în anul 1893:

Staţia 1:

α10	δ10
175	53.95

nr. stea	nume stea	α1j	δ1j	H1j	ξ1j	η1j	x 1j	y 1j	(ξ1j-x1j)/F	(η1j-y1j)/F
1	ε Uma	193.5292	55.9433	0.98231	0.18117	0.05930	607	979	-0.25702	-0.41463
2	α Uma	165.9708	61.7333	0.98733	-0.07528	0.14197	564	316	-0.23891	-0.13378
3	γ Uma	178.4875	53.6775	0.99934	0.03606	-0.00387	847	665	-0.35873	-0.28166

a1	b1	c1	a1'	b1'	c1'
-0.000423588	0.000000166	-0.000062733	-0.000000166	-0.000423590	0.000167291

Staţia 2:

α20	δ20
303	83.82

nr. stea	nume stea	α2j	δ2j	H2j	ξ2j	η2j	x2 j	y 2j	(ξ2j-x2j)/F	(η2j-y2j)/F
1	β Umi	222.65830	74.14330	0.96129	-0.28021	0.06032	1513	453	-0.64095	-0.19184
2	γ Umi	230.16670	71.82390	0.95449	-0.31225	0.01126	1584	572	-0.67103	-0.24227
3	α Umi	39.02900	89.27780	0.99397	0.01261	0.10962	806	300	-0.34138	-0.12702

a2	b2	c2	a2'	b2'	c2'
-0.000423722	-0.000000011	0.000148084	0.000000009	-0.000423730	0.000092874

Transformãrile anterioare sunt justificate deoarece în diferite directii de pe cliseu pot exista deformãri inegale în scarã, datoritã:

-centrãrii si orientãrii incorecte a sistemului de coordonate tangentiale;

-aberatiilor optice (distorsiuni de câmp, neperpendicularitatea axei optice pe cliseu).

De asemenea, rezultatele se pot verifica, identificându-se cu usurintã datele eronate.

Pe fiecare cliseu vom mãsura punctele de început si sfârsit ale dârei meteorului:

Staţia 1:

x1i m	y1i m	x1f m	y1f m
1126	1054	1044	1119

Staţia 2:

x2i m	y2i m	x2f m	y2f m
1683	613	1603	773

De aici, vor rezulta:

$$\xi_m = x_m + F \cdot (a x_m + b y_m + c)$$

$$\eta_m = y_m + F \cdot (a' x_m + b' y_m + c')$$

în final, iatã coordonatele ecuatoriale ale punctelor meteorului:

$$\Delta = \cos(\delta_0) - \eta_m \sin(\delta_0)$$

$$\Gamma = \sqrt{\xi^2 + \Delta^2}$$

$$\alpha_m = \alpha_0 + \arctan\left(\frac{\xi}{\Delta}\right)$$

$$\delta_m = \arctan\left(\frac{\sin(\delta_0) + \eta \cos(\delta_0)}{\Gamma}\right)$$

Revenind la cazul nostru:

Staţia 1:

ξ1i m	η1i m	ξ1f m	η1f m	Δ1i	Δ1f	Γ1i	Γ1f	α1i m	α1f m	δ1i m	δ1f m
0.1635	-0.1521	0.1964	-0.1263	0.7115	0.6906	0.7300	0.7180	187.939	190.877	44.564	45.637

Staţia 2:

ξ2i m	η2i m	ξ2f m	η2f m	Δ2i	Δ2f	Γ2i	Γ2f	α2i m	α2f m	δ2i m	δ2f m
-0.3538	-0.0040	-0.3251	-0.0739	0.1116	0.1811	0.3709	0.3722	230.510	242.115	69.531	69.326

Determinarea pozitiei radiantului

Pentru aceasta am folosit ecuatia unui cerc care trece prin 3 puncte; cercul respectiv poate fi identificat fãrã probleme cu cercul imaginar descris pe sfera cereascã prin "prelungirea" dârei meteorului observat dintr-un loc anume:

$$\tan(\delta_i) \cdot \sin(A - \alpha_f) + \tan(\delta_f) \cdot \sin(\alpha_i - A) + \tan(D) \cdot \sin(\alpha_f - \alpha_i) = 0$$

unde α_i si δ_i sunt coordonatele ecuatoriale ale începutului dârei

- α_f si δ_f sunt coordonatele ecuatoriale ale sfârsitului dârei

-A, D sunt coordonate necunoscute ale unor puncte situate pe sfera cereascã pe acelasi cerc cu punctele (α_i , δ_i), respectiv α_f , δ_f)

Acestea fiind spuse, putem sã determinãm matematic pozitia radiantului, având la dispozitie traiectoriile aparente ale meteorului (cercurile) vizibile din douã statii. Punctul de radiant se aflã chiar la intersectia acestor cercuri. Dezvoltând ecuatia de mai sus pentru fiecare statie în parte, vom obtine un sistem de douã ecuatii cu douã necunoscute x si y – din care rezultã usor coordonatele radiantului:

$$c_{j1} x + c_{j3} y = c_{j2}$$

, unde:

j=1,2 (pentru fiecare statie)

$x = \tan(A_R)$, AR fiind ascensia radiantului

$y = \dfrac{\tan(D_R)}{\cos(A_R)}$, DR fiind declinatia radiantului

$$c_{j1} = \tan(\delta_{ji})\cos(\alpha_{jf}) - \tan(\delta_{jf})\cos(\alpha_{ji})$$

$$c_{j2} = \tan(\delta_{ji})\sin(\alpha_{jf}) - \tan(\delta_{jf})\sin(\alpha_{ji})$$

$$c_{j3} = \sin(\alpha_{jf} - \alpha_{ji})$$

Iatã **pozitia radiantului** determinatã pentru meteorul nostru:

$$A_R = 9h\,59m\,28s \qquad D_R = 17°10'51''$$

Conform datelor preluate de la IMO, radiantul ar fi pe la α=10h12m, δ=22°. Observãm cã valorile teoretice prezise si cele calculate sunt asemãnãtoare (mai putin declinatia). Oricum, valorile reale pot oscila destul de mult fatã de cele estimate teoretic.

Unghiul de convergentã (între arcele de cerc observate din cele douã statii) este de aproximativ 20°, suficient de mare pentru a permite mãsurãri precise.

Determinarea coordonatelor geocentrice ecuatoriale ale meteorului

Mai întâi avem nevoie de câteva relatii de legãturã:

-între coordonatele geocentrice rectangulare terestre (X,Y,Z) si coordonatele geodezice:

Fie mãrimile:

B – latitudinea geodezicã
L – longitudinea geodezicã
ϕ – latitudinea geograficã
λ– longitudinea geograficã
H– altitudinea deasupra elipsoidului terestru
N– raza de curburã a sectiunii primului vertical
e– excentricitatea elipsoidului terestru
a– semiaxa mare a elipsoidului terestru
b– semiaxa micã a elipsoidului terestru

Cunoscând, pentru ambele statii:

a = 6378,16 km
b = 6356,77 km

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} = 0{,}0824$$

$$L \approx \lambda \qquad\qquad B \approx \varphi$$

ϕ
λ
H

$$N = a\left(1 - e^2 \sin^2 B\right)^{-1/2}$$

aflãm, pentru fiecare statie în parte, coordonatele geocentrice rectangulare, cu formulele:

$$X = (N + H)\cos B \cos L$$

$$Y = (N + H)\cos B \sin L$$

$$Z = [N(1 - e^2) + H]\sin B$$

Iatã rezultatele:

Statia 1:

?₁?B₁ [°]	?₁?L₁ [°]	H₁ [km]	N₁ [km]	X₁ [km]	Y₁ [km]	Z₁ [km]
45.200	26.050	0.300	6389.090	4044.811	1977.158	4502.943

Statia 2:

?₂?B₂ [°]	?₂?L₂ [°]	H₂ [km]	N₂ [km]	X₂ [km]	Y₂ [km]	Z₂ [km]
44.520	26.600	0.050	6388.832	4073.149	2039.681	4449.202

-între coordonatele **geocentrice rectangulare terestre** (X,Y,Z) si **coordonatele geocentrice stelare** (X',Y',Z'):

$$X' = X\cos(\Theta_G) - Y\sin(\Theta_G)$$

$$Y' = X\sin(\Theta_G) + Y\cos(\Theta_G)$$

$Z' = Z$,unde θG este diferenta unghiularã dintre axele din planul ecuatorului ale celor douã sisteme de coordonate, reprezentatã de timpul sideral Greenwich (în englezã, prescurtat: GST). Dat fiind cã observatia a fost fãcutã simultan de cãtre ambele statii, este evident faptul cã "GST" este acelasi: ?G = 91,4875°.

Rezultã în continuare:

Statia 1:

X_1' = - 2081,490 km
Y_1' = 3992,123 km
Z_1' = 4502,943 km

Statia 2:

X_2' = - 2144,728 km
Y_2' = 4018,829 km
Z_2' = 4449,202 km

Desi acum cunoastem coordonatele geocentrice stelare ale statiilor, observatiile au fost fãcute în sistem topocentric (cu originea în locul de statie). Deci tinem cont si de acest lucru atunci când facem **intersectia spatialã** (prin care vom determina în final pozitia meteorului în sistem geocentric stelar).

Iatã cum se face:

-avem **coordonatele ecuatoriale** α_{ji}, δ_{ji} ale începutului, respectiv α_{jf}, δ_{jf} ale sfârsitului dârei, înregistrate de ambele statii j=1,2. în exemplul nostru nu-i chiar asa, deoarece n-am "prins" din nici un unghi dâra întreagã; eu am "prins" partea de început, Zoli partea de sfârsit, restul (destul de putin) fiind în afara cadrului. Ca atare, am considerat ca sfârsit (la mine), respectiv început (la Zoli), punctele în care dâra iese din cadru; ceea ce va conduce la erori destul de mari, desigur, dar mãcar vom avea un rezultat aproximativ.

-lucrãm în douã etape, mai întâi cu perechea α_i, δ_i:

-se scriu cosinusii directori corespunzãtori fiecãrui unghi de observatie:

$$l' = \cos(\delta)\cos(\alpha) \qquad m' = \cos(\delta)\sin(\alpha)$$

$$n' = \sin(\delta)$$

-apoi, se aplicã rototranslatia în spatiu (la sistem geocentric):

$$x = X' + l' \cdot \rho \qquad y = Y' + m' \cdot \rho \qquad z = Z' + n' \cdot \rho$$

, unde x, y, z sunt chiar necunoscutele noastre, iar ρ este raza vectoare.

-relatiile anterioare scrise pentru fiecare statie dau, prin scãdere, un sistem de ecuatii de forma:

$$l_1' \cdot \rho_1 - l_2' \cdot \rho_2 = X_2' - X_1'$$

$$n_1' \cdot \rho_1 - n_2' \cdot \rho_2 = Z_2' - Z_1'$$

$$m_1' \cdot \rho_1 - m_2' \cdot \rho_2 = Y_2' - Y_1'$$

, deci 3 ecuatii cu 2 necunoscute ρ_1, ρ_2 .

Nu trebuie sã ne facem iluzii. Nu vom gãsi o pereche de solutii comunã pentru toate ecuatiile. Erorile de observatie sunt inevitabile. Practic, se aleg douã ecuatii, pentru care determinantul minor are valoare maximã, din care se deduc cele douã necunoscute. Valorile obtinute înlocuite în a treia ecuatie ne vor ajuta mai departe sã obtinem **eroarea** ε.

-avându-l la dispozitie acum pe ρ, calculãm x_j , y_j , z_j pentru fiecare statie (ar trebui sã aibã cam aceeasi valoare pe o axã, dacã ε e mic), si facem media, pentru o mai bunã estimare:

$$x_m = \frac{x_1 + x_2}{2} \qquad y_m = \frac{y_1 + y_2}{2} \qquad z_m = \frac{z_1 + z_2}{2}$$

-si, în sfârsit, legãtura între coordonatele geocentrice rectangulare si cele geocentrice ecuatoriale (r, α' , δ'):

$$\alpha' = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \qquad \delta' = \arctan\left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

Notã: Pentru a afla altitudinea meteorului se scade din r calculat anterior raza Pãmântului la latitudinea locului de observatie (în cazul nostru, la aproximativ 45° latitudine, adicã raza medie a Pãmântului: RPmed =6366,746 km) reluãm calculele precedente, de data aceasta cu α_f , δ_f .

Rezultatele finale:

Punctul de început:

α_{1i} = 187,938887° α_{2i}=230,510080°
δ_{1i} = 44,564365° δ_{2i} = 69,530934°

j	l_i	m_i	n_i	?$_i$ [km]
1	-0.705634	-0.098403	0.701710	140.976
2	-0.222390	-0.269878	0.936861	162.954

$$\epsilon = 3.44\,km$$

$$x_m = -2180{,}967\,km \quad y_m = 3976{,}552\,km$$

$$z_m = 4601{,}867\,km$$

$$\alpha' = 118{,}7429° \pm 0{,}0104° = 7h54m58{,}3s \pm 2{,}5s$$

$$\delta' = 45{,}4170° \pm 0{,}0095° = 45°25'1'' \pm 35''$$

$$r = 6461{,}173\,km \pm 1{,}048\,km$$

$$h = r - R_{Pmed} = 94{,}427\,km \pm 1{,}048\,km$$

Punctul de sfârsit:

α_{1f} = 190,877198° α_{2f} = 242,115495°
δ_{1f} = 45,636706° δ_{1f} = 69,325818°

j	l_i	m_i	n_i	?$_i$ [km]
1	-0.686644	-0.131943	0.714921	129.752
2	-0.165120	-0.312061	0.935603	156.587

$$\epsilon = 5.04\,km$$

$$x_m = -2170{,}583\,km \quad y_m = 3972{,}484\,km$$

$$z_m = 4595{,}705\,km$$

$$\alpha' = 118{,}6524° \pm 0{,}0153° = 7h54m36{,}6s \pm 3{,}7s$$

$$\delta' = 45{,}4327° \pm 0{,}014° = 45°25'58'' \pm 50''$$

$$r = 6452{,}332\,km \pm 1{,}552\,km$$

$$h = r - R_{Pmed} = 84{,}034\,km \pm 1{,}552\,km$$

Ca o observatie suplimentarã si oarecum importantã pentru cei ce doresc sã afle natura fizicã a bolidului, acesta s-a "aprins" în atmosferã la o altitudine de aproximativ 94 km si s-a "stins" cam pe la 84 km altitudine.

Concluzii

Scopul final al observatiilor în dublã statie este determinarea elementelor orbitale ale meteoroidului care intrã în atmosferã; din pãcate, acest ultim pas nu a putut fi fãcut în cazul exemplului nostru deoarece nu s-au putut obtine date referitoare la viteza meteorului (morisca s-a stricat din cauza umezelii).Voi reveni asupra acestui lucru, sper, cu ocazia unor observatii ulterioare.

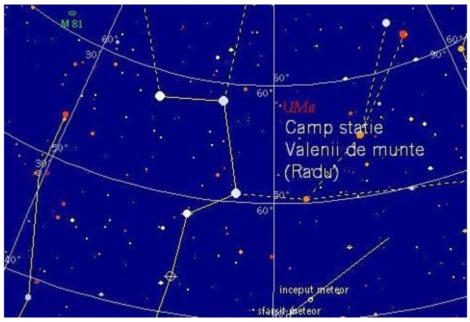
Observatiile fotografice în dublã statie sunt deosebit de valoroase. Amatorii din România sunt încurajati cu aceastã ocazie pentru a organiza astfel de observatii.

Ca în majoritatea cazurilor, este necesarã multã rãbdare, mai ales pentru prelucrarea datelor. Este benefic sã se dispunã de un calculator pe care sã fie instalate – si sã functioneze – programe asemãnãtoare cu Astrorec (din pãcate acesta e inutilizabil fãrã baza de date Sky Catalogue 2000 , care costã!).

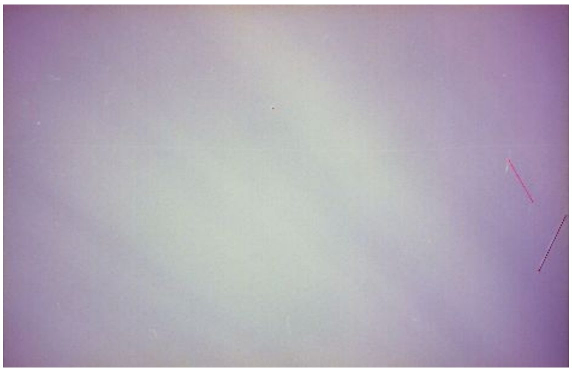
Factori care influenteazã decisiv rezultatele finale:
-stabilirea cu precizie (cam 30 m) a locatiilor (coordonatele geografice) statiilor.
-înregistrarea corectã a momentelor de început si de sfârsit ale expunerii.
-determinarea exactã momentului aparitiei meteorului.
-înregistrarea dârei întregi a meteorului pe ambele clisee.
-mãrimea unghiului de convergentã (de preferat mai mare de 20°).
-calitatea imaginii analizate, influentatã de: calitatea opticii, distanta focalã, claritatea dârelor înregistrate, zgomotul de fond.

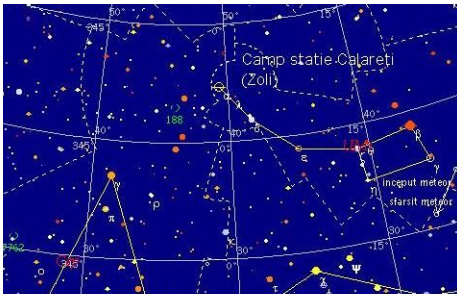
Bibliografie

M.Alexescu – Laboratorul astrofizicianului amator
A. Dinescu – Introducere în geodezia geometricã spatialã
International Meteor Organization – Handbook For Photographic Meteor Observations
Astronomy â Astrophysics Supplement Series 128 – Precision meteor orbits obtained by the Dutch Meteor Society – Photographic Meteor Survey (1981 – 1993)

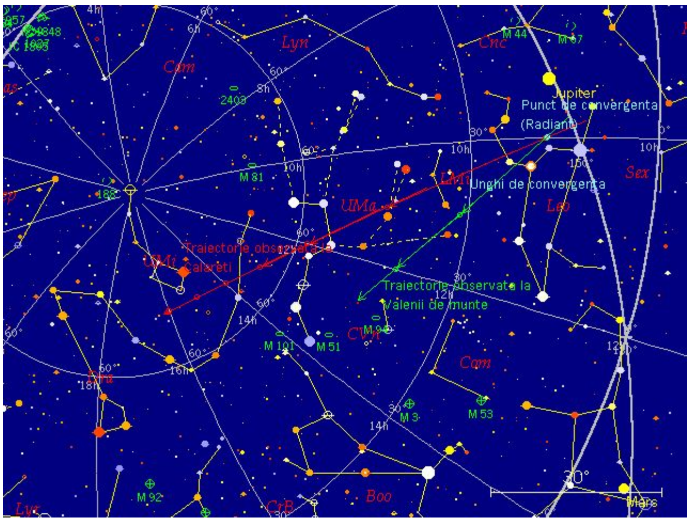


Meteorul surprins pe film de Radu Gherase în localitatea Vãlenii de Munte (stânga) si pozitia sa printre stele (dreapta).





Acelasi meteor surprins pe film de Zoli Deak în localitatea Cãlãreti (stânga) si pozitia sa printre stele (dreapta).



Traiectoria combinatã a meteorului. se observã locul unde se intersecteazã cele douã traiectorii. Acela este radiantul.