

# Simultane videometeoren volledig verwerkt

Marc de Lignie<sup>1</sup>

1 Prins Hendrikplein 42, 2264 SN Leidschendam

## English summary

Trajectory data and orbital elements of five double-station meteors recorded with intensified video cameras are presented. Analytic formulae (4) and (5) for estimating the accuracy of a double station radiant are derived. The obtained accuracy, although hampered by a long base distance between the stations, is comparable to that of earlier video orbits, published by Jones and Sarma [1]. The results show that two of the meteors belong to the Geminid meteor stream. A third Geminid-like meteor has a much higher velocity. It is noted that the IAU database contains two similarly deviating meteors and a genetic relationship with the main Geminid stream is suggested.

## Inleiding

De Geminiden 1991 leverden in Nederland de eerste oogst aan simultane videometeoren op, als resultaat van de vasthoudendheid van de videowaarnemers Klaas Jobse en Romke Schievink. In een eerder artikel werden de voorlopige berekeningen aan enkele van deze meteoren gepresenteerd [2]. In dit artikel volgen de complete berekeningen aan de gehele set van meteoren.

Achteraf gezien bleek het verwerken van alleen de eerste zes meteoren in het vorige artikel een gelukkige keuze. Van deze zes meteoren leverden er vier goede resultaten op. Het verwerken van de overige elf meteoren heeft echter maar één acceptabele simultaanopname opgeleverd. Vier van de elf vielen al bij voorbaat af doordat ze te zwak waren of te ver aan de rand van het beeldveld zaten. Eén meteor viel pas na het uitvoeren van de simultaanberekeningen af op grond van de veel te korte sporen, één meteor bleek niet simultaan te zijn en er vielen er maar liefst vier af ten gevolge van een te kleine convergentiehoek. Vooral omdat de twee simultaanopnames zo ver uit elkaar stonden, leidt een kleine convergentiehoek tussen de meteorsporen al snel tot onacceptabel grote marges in de berekeningen. Een convergentiehoek van 15° lijkt toch wel een minimum te zijn.

Op zich was het niet verwonderlijk dat

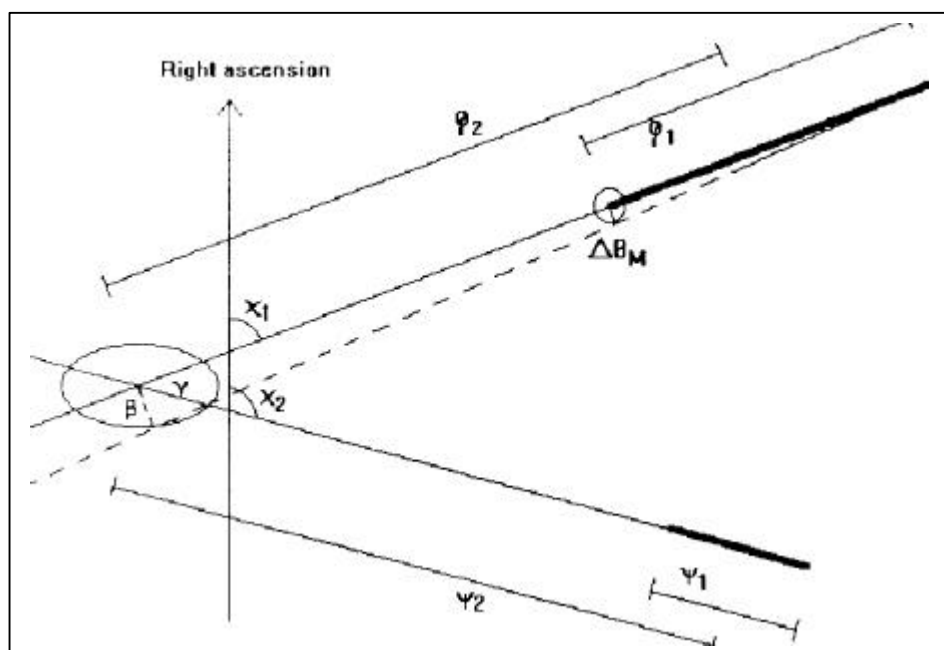
zoveel simultaanopnames last hadden van een kleine convergentiehoek, want als één set ongunstig uitvalt dan moeten de overige sets, vanwege de kleine beeldvelden van de videocamera's, voor meteoren van dezelfde zwerm ook ongunstig uitvallen: al de simultaanopnames lijken sterk op elkaar. De eerste groep van zes meteoren viel gunstiger uit dan de latere elf omdat toen de Geminidenradiant nog meer naar het oosten stond. Toevallig leverde dat samen met de stand van de camera's redelijke convergentiehoeken op. In de groep van elf pakte dat helaas minder gunstig uit. De enige goede simultaanopname uit deze groep was dan ook van een sporadische meteor.

## Schatting fout in radiant

Bij het berekenen van baanelementen uit de gevonden radiant en snelheid van een meteor is het prettig om een idee te hebben van de nauwkeurigheid. Voor de snelheid is dit niet zo moeilijk omdat deze voor beide posten wordt bepaald. Het verschil in snelheid tussen de twee posten is dan een maat voor de onnauwkeurigheid. Bij een simultaanopname met maar twee posten kan een dergelijke vergelijking echter niet voor de radiant worden gemaakt, omdat hieruit maar één waarde voor de radiant volgt.

Uit de astrometrische berekeningen van de meteorpunten ten opzichte van referentiesternen is echter wel bekend

wat ongeveer de onnauwkeurigheid in de bepaling van de begin- en eindpunten van de meteorsporen is. Hieruit kan met wat rekenwerk alsnog de onnauwkeurigheid in de radiantpositie worden geschat. Dit rekenwerk gaat als volgt (zie fig. 1). Beschouw één van de meteorsporen met een hoeklengte  $\phi_1$  en een hoekafstand  $\phi_2$  tot de berekende radiant. De begin- en eindpunten van dit spoor zijn niet exact bepaald, maar bevinden zich in een cirkeltje met een straal van  $\Delta\theta_M$ , de astrometrische meetfout. Voor twee meteorsporen die loodrecht op elkaar staan (convergentiehoek  $Q=90^\circ$ ), is de maximale fout die kan worden gemaakt in de radiant ten gevolge van of de fout in het beginpunt, of de fout in het eindpunt:  $\Delta\theta_R=(\sin\phi_2/\sin\phi_1)\Delta\theta_M$ . Door het achterwaarts verlengen wordt de fout groter. Het gebruik van de sinusfunctie is een gevolg van het feit dat op een boloppervlak wordt gerekend [3]. Bij het in rekening brengen van de fout in zowel het begin- als het eindpunt wordt deze waarde *statistisch gezien* nog een factor  $\sqrt{2}$  groter. We zullen echter niet steeds te maken hebben met het meest ongunstige geval dat  $\Delta\theta_M$  loodrecht op het meteorspoor staat; hierdoor wordt de fout in de radiant juist weer een factor  $\sqrt{2}$  kleiner (voor de rekenaars:  $\sqrt{\langle\cos^2x\rangle}=1/\sqrt{2}$ ). Dezelfde redenering kan worden gehouden voor het andere meteorspoor, maar dan met



**Figure 1 :** Geometry symbols used in deriving a formula for the error in the calculated radiant.

hoeken  $\psi_1$  en  $\psi_2$ . Maar wat is nu de invloed van de convergentiehoek  $Q$  (fig.1)? Als de convergentiehoek ongelijk is aan  $90^\circ$ , dan wordt een fout  $\beta$  in de dwarsrichting opgerekt tot een afstand  $\gamma$  tot de werkelijke radiant. De verhouding tussen  $\beta$  en  $\gamma$  bedraagt  $\sin Q$ . De totale formule voor de fout in de radiantpositie wordt zo :

$$\Delta q_R = \sqrt{(\Delta q_{R1})^2 + (\Delta q_{R2})^2}, \tag{1}$$

met

$$\Delta q_{R1} = \frac{\sin f_2}{\sin Q \sin f_1} \Delta q_M \tag{2}$$

$$\Delta q_{R2} = \frac{\sin y_2}{\sin Q \sin y_1} \Delta q_M. \tag{3}$$

Aan deze formules is te zien dat de fout in de radiant inderdaad sterk toeneemt voor kleine convergentiehoeken. Voor  $Q=15^\circ$  is de fout al een factor vier groter geworden.

Voor  $Q=6^\circ$  wordt dat zelfs een factor tien. Ook de verlengingsfactoren zorgen er voor dat de fout in de berekende radiant aanzienlijk groter is dan de fouten in de individuele meteorsporen.

De totale fout uit vergelijking (1) kan uiteindelijk weer op de rechte klimmings- en declinatie-assen worden projecteerd om de fouten in de betreffende coördinaten te verkrijgen. Hierbij moet er rekening mee worden gehouden dat de totale fout zich niet altijd

$$\Delta a_R = \frac{\sqrt{(\Delta q_{R1} \cos c_2)^2 + (\Delta q_{R2} \cos c_1)^2}}{\sin d_R} \tag{4}$$

$$\Delta d_R = \sqrt{(\Delta q_{R1} \sin c_2)^2 + (\Delta q_{R2} \sin c_1)^2}. \tag{5}$$

gelijkelijk over de rechte klimming en de declinatie verdeelt, omdat het foutgebied ellipsvormig is (fig. 1). Als de convergentiehoek klein is en als de sporen toevallig langs één van de assen liggen, dan zal de fout in de coördinaat bij deze as het grootst zijn. In formulevorm, met  $\chi_1$  en  $\chi_2$  de hoeken tussen de rechte klimmingsas en het eerste respectievelijk het tweede meteorspoor *ter hoogte van de radiant*:

## Resultaten

De resultaten van alle berekeningen zijn te vinden in tabellen 1 en 2. Hiervoor zijn dezelfde rekenprogramma's gebruikt als voor het fotografische simultaanwerk. De resultaten van de eerste vier meteoren zijn ten opzichte van het eerdere artikel nog iets veranderd omdat de begin- en eindpunten van de meteoren nauwkeuriger zijn bepaald. Het trajectberekeningsprogramma GEFITS maakt namelijk alleen gebruik van de begin- en eindpunten van de meteorsporen; de tussenliggende punten worden gebruikt voor de snelheidsberekening. Het bijbehorende input programma REDCON voor fish-eye lenzen maakt dan ook eerst een fit door alle meetpunten en bepaalt hieruit aangepaste, nauwkeuriger begin- en eindpunten. Een dergelijk fit routine is nu ook bij het voor de videometeor gebruikte TURNER input programma toegepast.

In tabel 2 zijn ook de geschatte fouten in de radiant te zien, volgens formules (4) en (5). Het blijkt dat deze voor de verwerkte meteoren nogal groot zijn en in de orde van graden liggen. Naast de kleine convergentiehoeken speelt ook de grote basisafstand tussen de posten hierbij een rol. Hierdoor hebben de

meteoren aan de hemel gezien kortere sporen en is de achterwaartse verlengingsfactor erg groot. Door de richtpunten van de camera's zo te kiezen dat de meteoren hoog aan de hemel verschijnen en de convergentiehoek groot is, zal de nauwkeurigheid echter flink kunnen toenemen. Overigens is de nauwkeurigheid nu al net zo goed als eerder gepubliceerde simultane videometeor van Jones en Sarma [1].

nr.	Time (UT)	Stream	$m_V$	$H_b$ (km)	$H_e$ (km)	$\cos Z_R$	Q
1	0:17:38	Gem	4	97	88	0.91	25
2	0:25:03	Spo	3	101	88	0.80	56
3	0:25:04	Gem	4	100	87	0.92	25
4	0:29:44	Gem	3	97	85	0.91	27
5	1:15:51	Spo	5	77	75	0.84	33

**Table 1:** Trajectory data of five double station meteors recorded with video cameras on december 15, 1991.

nr.	$RA_G$	$DE_G$	$v_G$ km/s	$1/a$ ( $au^{-1}$ )	e	q (au)	i	$\omega$	$\Omega$
1	115	33	33.0	0.82	0.88	0.15	24	324	262.63
	3	1.0	1.2	0.09	0.02	0.02	3	3	0.00
2	179	83	28.6	0.40	0.65	0.88	46	223	262.63
	3	0.5	0.8	0.04	0.04	0.004	0.9	1.3	0.00
3	116	34	45.5	0.13	0.98	0.10	50	324	262.63
	2	0.7	1.1	0.11	0.01	0.01	5	2	0.00
4	116	33	33.5	0.83	0.89	0.14	25	326	262.63
	2	0.7	0.7	0.06	0.01	0.01	2	2	0.00
5	89	12	8.1	0.98	0.27	0.75	3	98	82.65
	5	5	3	0.05	0.09	0.08	0.8	10	0.00

**Table 2:** Geocentric radiant, velocity and orbital elements (2000.0) of five double station video meteors. Standard deviations are specified in each second line.

In vergelijking met 8mm fish-eye foto's kunnen de meteoorsporen vanaf video even nauwkeurig of zelfs iets nauwkeuriger worden uitgemeten.

Fish-eye fotografie heeft echter het voordeel dat er normaal gesproken vuurbollen met een lange atmosferische trajectlengte in het spel zijn, zodat de radiant toch nauwkeuriger kan worden bepaald. Daardoor zullen ook de baanelementen bepaald uit fish-eye foto's nauwkeuriger zijn dan die van videometeoren, omdat voor de laatsten de atmosferische trajectlengtes meestal vrij kort zijn. De videometeoren zijn niettemin waardevol, omdat hiermee een heel andere klasse van veel kleinere deeltjes wordt bestudeerd.

Op het eerste gezicht zijn er van de vijf meteoren drie Geminiden. Twee ervan zijn standaard Geminiden, zij het met

een beetje lage snelheid. Eén van de drie heeft echter wel de Geminiden-radiant maar een veel en veel te hoge snelheid. Hierdoor wijken de baanelementen flink af van de Geminidenzwerm. In het eerdere artikel werd nog gesuggereerd dat het wellicht een Geminide kon zijn, maar dat er iets met de snelheidsberekening was fout gegaan. Het betreft echter een simultaanset met normale oplicht- en uitdoofhoogtes en de hoge snelheid volgt uit beide posten op grond van voldoende meetpunten (17 en 8). Het is dus uitgesloten dat de hoge snelheid het gevolg is van een fout. De vraag echter blijft of deze gekke baan wel of niet met de Geminidenzwerm heeft te maken. In de IAU database met precisiebanen bleken overigens nog twee meteoren voor te komen die op vrijwel

dezelfde manier van de Geminidenbaan afweken! Welke sterrenkundige verzint een leuke theorie om de excentriciteit van een Geminidedeeltje flink van grootte te laten veranderen zonder het baanvlak te wijzigen?

De overige meteoren zijn minder uitzonderlijk: een sporadische meteor met een radiant nabij de Poolster en een snelheid van 30 km/s is zo typisch als het maar zijn kan. Een meteor met een snelheid van 8 km/s en een excentriciteit van slechts 0.3 lijkt iets vreemder, maar dit soort "Cycliden" zijn in grote getale in de IAU database terug te vinden.

### Conclusies

De eerste simultane videometeoren zijn volledig verwerkt. Door de grote basis-

afstand van de posten valt de nauwkeurigheid van de resultaten nog wat tegen. Dit geldt echter ten opzichte van de fotografen. Ten opzichte van het professionele videowerk mogen de resultaten er zijn. Als extra aardigheidje lijkt een nieuw lid van een Gemini-deachtig meteorzwermpje te zijn gevonden.

### Referenties

- [1] J.Jones and T.Sarma, *Bull. Astron.Inst. Czech.* **36** (1985), 103
  - [2] M. de Lignie, *Radiant* **14** (1992), 59
  - [3] R.Kochack, *WGN* **19** (1991), 225.
-