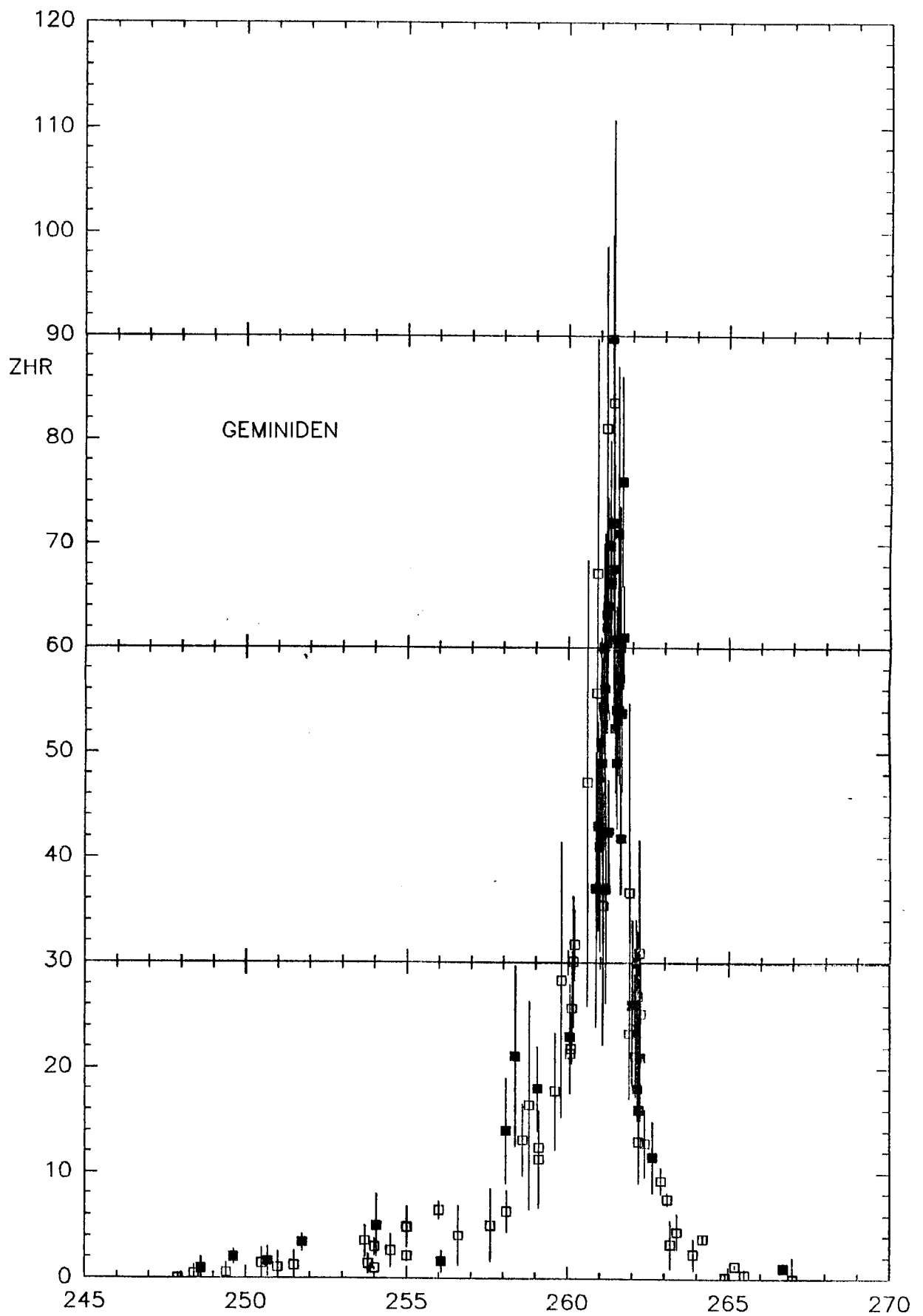




VISUEEL HANDBOEK

DMS VISUEEL HANDBOEK

Peter Jenniskens

Leiden, maart 1988

Opgedragen aan alle visuele waarnemers van DMS

c) Niets uit dit werk mag voor commerciële doeleinden worden vermenigvuldigd op welke wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteur.

c) No part of this work may be reproduced in any form for commercial purposes, without a written permission from the author.

ADRESSEN

Visuele waarnemingen:

Rudolf Veltman, Cleveringalaan 5, 2343 VE Oegstgeest	071-154316
Peter Jenniskens, Pelikaanhof 59a, 2312 EC Leiden	071-143354

Fotografische waarnemingen:

Hans Betlem, Lederkarper 4, 2318 NB Leiden	071-223817
Mark de Lignie, Boerhavelaan 196, 2334 EW Leiden (werk:	071-275931)
Casper ter Kuile, Akker 145, 3732 XD De Bilt	030-763170

Telescopische waarnemingen:

Frank Witte, Enschedesestraat 105, 7551 EK Hengelo	074-422459
--	------------

Kometen:

Reinder Bouma, Bekemaheerd 77, 9737 PR Groningen	050-418227
--	------------

Lid worden? Stort 25,- op giro 4118827 t.n.v. RADIANT te Leiden. U ontvangt dan 6 maal per jaar het tijdschrift Radiant.

ENKELE BEGRIPPEN

- Wat zijn **meteoren**? Kortdurende lichtverschijnselen hoog in de atmosfeer van de Aarde. In de volksmond: vallende sterren.
- Wat zijn **vuurbollen**? Vuurbollen zijn meteoren die helderder zijn dan magnitude -4 (de helderheid van Venus).
- Wat veroorzaakt meteoren? **Meteoroiden** (interplanetaire stofdeeltjes): Stofjes van steen en metaal bij elkaar gehouden door ijs en afkomstig van kometen, of stukjes steen en metaal afkomstig van planetoiden.
- Hoe ontstaan meteoren? Meteoroiden botsen met de Aarde. Door de wrijving met moleculen in de atmosfeer, wordt al op 100-80 km hoogte de bewegingsenergie van de meteoroiden omgezet in warmte (de steen verdampt) en in de ionisatie en het aanslaan van atomen (helder licht afkomstig van afgedampte metaal atomen).
- Waar komt de **kleur van meteoren** vandaan? Van de metaal deeltjes die van de komeet zijn afgedampt. Elk metaal geeft licht bij zeer bepaalde kleuren (spectraallijnen).
- Wat is een **nalichtend spoor**? Het spoor van een meteor kan nog even na blijven lichten wanneer de meteoroiden die de meteor veroorzaakte al verdwenen is. Sommige metaal atomen of lucht moleculen blijven lang in een aangeslagen toestand en zenden de verkregen energie pas laat weer in de vorm van licht uit.
- Wat is een **meteoorzwerm**? In sommige perioden van het jaar zijn er groepen meteoren te zien die uit dezelfde richting komen

Wat is een **radiant**?

De radiant is de richting waar vandaan alle meteoren van een zwerm komen. De radiant is te vinden door de meteoren, die overal om ons heen verschijnen, achterwaarts te verlengen. Het snijpunt van die lijnen heet de radiant.

Wat veroorzaakt een meteorzwerm?

Meteoroïden die in dezelfde baan om de zon bewegen. Al die meteoroiden zijn van eenzelfde object afkomstig: meestal van een komeet.

Hoe snel komen meteoroiden de atmosfeer binnen?

Met ware astronomische snelheden: tussen 11 en 72 km/s!

Hoe is de vorm van de **baan van een meteoroid**?

Alle meteoroiden bewegen in banen die de vorm hebben van een ellips. De zon staat in één van de brandpunten van de ellips.

Geven alle kometen meteorzwermen?

Nee. Alleen die kometen die dicht bij de Aardbaan kunnen komen (<0.08 AE). Bovendien moeten die kometen al wel voldoende meteoroiden losgelaten hebben.

Wat zijn **sporadische meteoren**?

Meteoren die niet bij een zwerm horen. Ook meteoren die bij heel kleine zwempjes horen worden soms bij de sporadische meteoren geteld.

Waar komen sporadische meteoren vandaan?

Van oude meteorzwermen, door verstoring van de baan van de meteoroiden, of van onderlinge botsingen van planetoiden.

HOOFDSTUK 1

INLEIDING

De in meteoren geïnteresseerde sterrenkunde amateur moet veel weten, voordat hij alles uit zijn hobby kan halen. Hij begint misschien met de vraag: "Wanneer verschijnen meteoren? In welke uren van de nacht moet ik waarnemen en waar komen de meteoren dan vandaan?". Dit staat in hoofdstuk 1.

Het boeiende verschijnsel van een meteor is erg vluchtig: alleen de herinnering blijft. Al snel zal opvallen dat er tientallen verschillende type meteoren bestaan: snelle en trage, heldere en zwakke, met en zonder nalichtend spoor, als een balletje met staart of juist als een streep, geel of blauw, kort en lang, noem maar op. Is iemand eenmaal gegrepen door dit verschijnsel, dan kan de hobby een vaste vorm krijgen door dat wat men ziet op te schrijven. In club verband komen al die waarnemingen bij elkaar. Ze worden met elkaar vergeleken en de rekenaars in de club kunnen uit die notities allerlei eigenschappen van zwermen afleiden. De vraag is dan: "Hoe kan ik op een goede manier alles opschrijven, zodat ik of iemand anders later nog wat met de waarnemingen kan doen." Dit staat in hoofdstuk 2. Krijgt de waarnemer lol in het waarnemen van meteoren, dan zal zijn gedrevenheid snel toenemen. Hij ziet meer meteoren, zoekt naar manieren om het waarnemen aangenaam te maken en probeert eens wat anders, intekenen bijvoorbeeld, of Öpikken. Vele tips en adviezen zijn verzameld in hoofdstuk 2.

In hoofdstuk 3 komt de rekenaar aan bod. Wat kan er zoal uit de waarnemingen worden berekend. Uitgelegd wordt hoe uit de tijd de zonslengte kan worden berekend, hoe de ZHR en de massa-influx op Aarde berekend kan worden, wat de massaverdeling in de zwerm is op grond van een magnituden verdeling, wat er gedaan kan worden met nalichtende sporen.

Iedere waarnemer heeft behoefte aan zekere informatie over de zwerm die hij wil of kan gaan waarnemen. Waar staat op een bepaald moment de radiant? Wat is waarschijnlijk de actiefste zwerm. Hoe zien die meteoren eruit? Wanneer zijn er kortstondige meteoren regens te verwachten, enz. Al die informatie vindt U in hoofdstuk 4. Ook wordt wat verteld over de geschiedenis van de meteoren astronomie en de geschiedenis van de zwermen: de oudste sterrenregens, de

ontdekking. Wanneer er iets bekend is over de evolutie van de zwerm door de storingen van de planeten, wordt ook daar een samenvatting van gegeven.

DUTCH METEOR SOCIETY

Een aantal waarnemers en rekenaars zijn verenigd in het gezelschap Dutch Meteor Society (DMS). Voor de DMS waarnemer verschijnt elke twee maanden het tijdschrift RADIANT.

In **Radiant** vindt U de belevenissen van waarnemers in het veld: de -10 vuurbol, de onverwachte aktiviteit uit een kleine zwerm, de mist die na 30 minuten het waarnemen onmogelijk maakte, de geit van de buurman die de stretchers aanvrat. Ook vindt U er de laatste nieuwtjes op meteoren gebied: meteoriet droppingen, vuurbol meldingen, sterrenregens. Tenslotte wordt veel moeite gedaan om de waarnemingen snel en goed te verwerken. Zeer regelmatig vindt U in Radiant de resultaten van Uw werk: ZHR grafieken, nieuwe kennis over een zwerm, traject en baan van een simultaan waargenomen vuurbol.

Twee maal per jaar vindt een landelijke bijeenkomst plaats, ergens in het midden van het land, de laatste jaren vaak in Bussloo. Na de Perseiden aktie is er een rekendag of uitwerkdag waarop de eerste resultaten worden getoond, symultaan opnamen worden uitgezocht, mensen hun verhaal doen en belevenissen vertellen. In maart of april is er het jaarlijkse **DMS Symposium**. Die bestaat uit lezingen, vooral door eigen leden, over meteoren. Soms wordt een gast uitgenodigd te vertellen over bijvoorbeeld het "meteoriet onderzoek op de Zuid Pool". Het is een dag om de meteoren kennis op te kunnen halen.

DMS timmert aan de weg. Op sommige beurzen is DMS present, er gaan persberichten naar de grote kranten, er worden lezingen gegeven en brieven beantwoord. Er zijn nooit voldoende waarnemers om alle meteoren die aan de hemel verschijnen te kunnen registreren. Meer leden betekent meer gegevens, meer resultaten, meer geld, meer Radiant. Bent U al abonnee?

DMS biedt goede faciliteiten voor de meteoornaarnemer. Zij geven nauwkeurige sterrenkaarten uit, efficiënte waarneemformulieren en dit Handboek met veel, heel veel informatie.

WANNEER METEOREN WAARNEMEN?

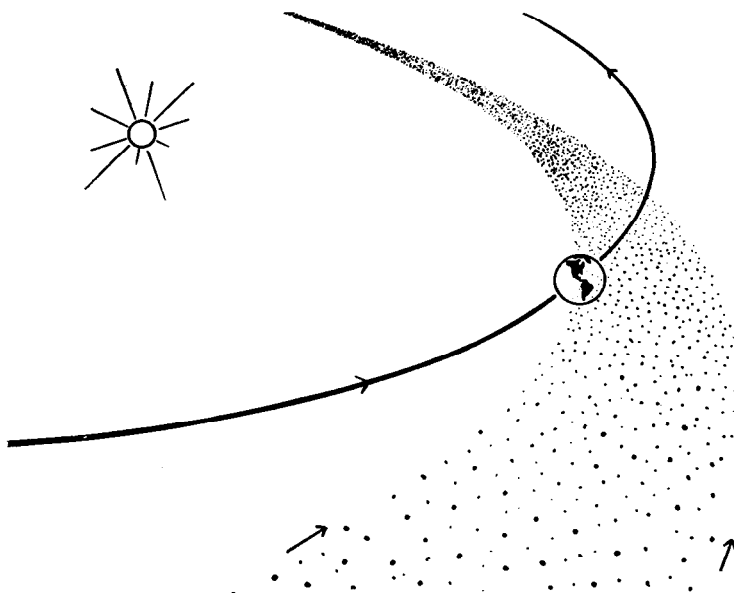
Op verschillende tijdstippen van het jaar zijn verschillende typen meteoren te zien. Ruwweg bestaan er twee soorten meteoren (vuurbollen). Meteoren die worden veroorzaakt door:

1. Stofdeeltjes van kometen.
2. Stukjes steen en metaal van planetoiden.

Kometen en meteorozwermen

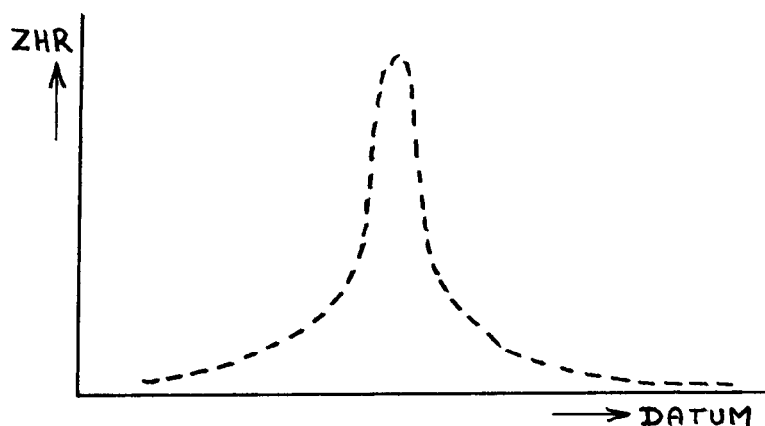
De meeste meteoren ontstaan uit stof van kometen. Kometen zijn brokken van door ijs aan elkaar geklitte pluusjes stof en ijs. Dat materiaal is zó bros, dat het kometenstof al op grote hoogte boven het Aardoppervlak volledig opbrandt. Er is nog nooit een (stuk van een) komeet op Aarde terecht gekomen.

De meteoroiden die van één komeet komen, en nog in de buurt van de baan van die komeet zitten, veroorzaken samen een **meteorzwerm**. Dat gebeurt wanneer de Aarde in de buurt komt van de komeetbaan (zie figuur 1-1, uit ref. 5).



Figuur 1-1

Meestal is er een korte periode in het jaar (5-25 dagen) waarin meteoren van een zwerm te zien zijn. Het aantal meteoren dat dan per uur te zien is, zal in het begin van die periode nog weinig zijn, dan langzaam toenemen totdat een maximum wordt bereikt, om daarna weer minder te worden. Dit toe en afnemen van



Figuur 1-2

de aktiviteit van een zwerm wordt weergegeven in een **ZHR curve** (zie fig. 1-2). ZHR is engels voor Zenitale Uur-Frequentie (Zenith Hourly Rate). De ZHR is het aantal meteoren dat per uur verschijnt onder optimale omstandigheden en dat zichtbaar is voor één waarnemer. Uit een ZHR curve, kan men aflezen wanneer een meteorenzwerm actief is en hoe actief hij is. Het hangt natuurlijk nog van het weer af, maar ook van de hoogte van de radiant boven de horizon, hoeveel meteoren er precies te zien zijn.

De meeste meteoren van een zwerm zijn te zien, wanneer de radiant van die zwerm hoog aan de hemel staat. Het hangt van de vorm van de komeetbaan af, of dat 's-avonds of 's-ochtends is, en op welk tijdstip in het jaar.

In tabel 1-1 staan voor verschillende grote zwermen gegeven een aantal data waarop de aktiviteit maximaal is en de radiant-hoogten op die dag. De tijdstippen zijn in UT (= gewone tijd - 1 uur, of zomertijd - 2 uur). De radianthoogten gelden strikt voor een waarnemer bij $\lambda = +5^\circ$, $\phi = 52^\circ$ en kunnen ± 2 graden afwijken, de data ± 1 dag, afhankelijk van de tijd die verstreken is sinds een schrikkeljaar.

De meeste zwermen zijn ochtendzwermen (type O). In de ochtend uren staat de radiant het hoogste aan de hemel. Ochtendzwermen hebben snelle meteoren. Avondzwermen (type A) hebben juist langzame meteoren. Dat heeft te maken met de beweging van de Aarde zelf. 's-Avonds zijn wij aan de achterkant van de Aarde en 's-ochtends aan de voorkant. Aan de voorkant botst de Aarde op de meteoroiden, maar aan de achterkant moeten de meteoroiden de Aarde juist inhalen.

Kometen komen uit Oort's wolk. Dat is een grote wolk van kometen, die zich uitstrekt vanaf de banen van de buitenste planeten (Neptunus en Pluto) tot op 1 lichtjaar van de Zon vandaan. Grote gaswolken in ons melkwegstelsel, maar ook de buitenste planeten, verstoren soms de baan van een van de kometen, waarna die komeet naar de zon toe valt. De planeet Jupiter (en soms een van de andere planeten) zorgt er dan voor, dat zo'n komeet een kleine baan door het zonnestelsel gaat beschrijven. De baan van zo'n ingevangen komeet kan zowel prograad als retrograad zijn: met de planeten mee of tegen de planeten in. Allerlei inclinaties (hellingen met het aardvlak) zijn mogelijk. Kometen komen dus uit allerlei richtingen. Daarom zijn er zowel ochtend als avond zwermen.

datum: 4-1 22-4 29-7 30-7 12-8 18-8 10-10 22-10 12-11 3-11 17-11 14-12 23-12

zwerm: Boo Lyri δ-Aq Capr Pers κ-Cy Draco Orion Tau-N Tau-Z Leoni Gemin Ursid

17	UT	22							9	-	-	-	44
18	18					70	-	18	9	-	13	42	
19	15					62	-	27	18	-	20	40	
20	14	10		24	79	54	-	36	27	-	28	40	
21	15	19	-	19	28	83	47	-	45	36	-	37	40
22	16	28	9	26	33	79	40	9	52	43	-	46	41
23	20	37	16	29	39	72	34	18	58	49	9	55	43
00	24	46	20	29	46	64	28	27	60	51	17	64	45
01	30	55	22	26	53	57	24	36	58	50	26	69	47
02	36	63			60	49	21	44	52	46	35	70	50
03	44	69					19	49	44	39	44	65	53
04	52						19	52	36	30	52	57	56
05	60						20	51	26	21	57	48	59
06	69							47	17	12	59	39	62
07												30	63

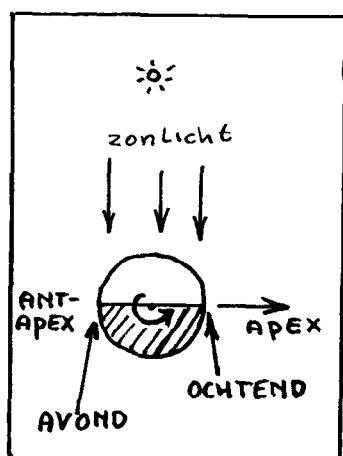
type:	0	0	0	-	0	-	A	0	-	-	0	-	-

Tabel 1-1

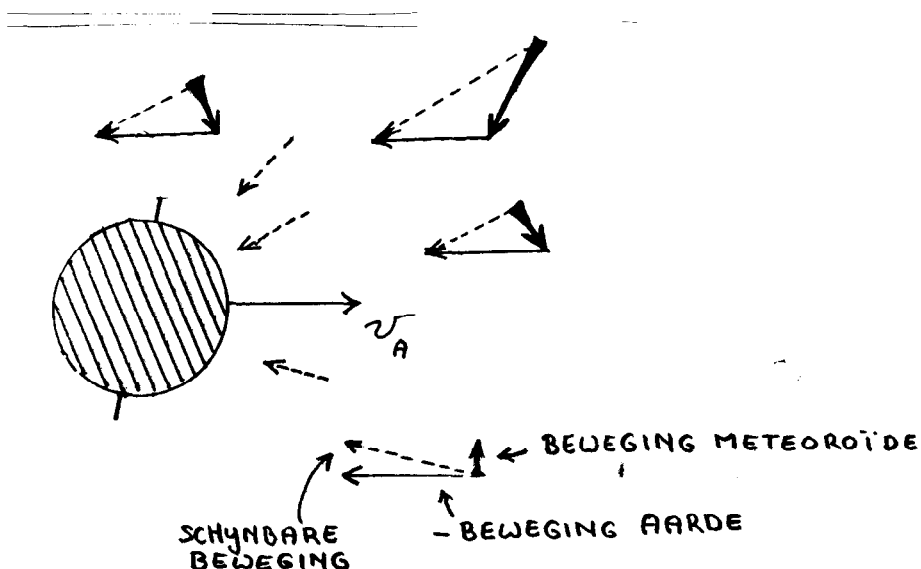
Sporadische meteoren

Er bestaan honderden kleine meteoroorzwermpjes waarvan de meteoren uit allerlei richtingen kunnen komen. Ook de stofjes uit oude meteoroorzwermpjes die door planeten of onderlinge botsingen verspreid zijn, komen uit allerlei richtingen. Dit soort meteoren noemen we **sporadische meteoren**.

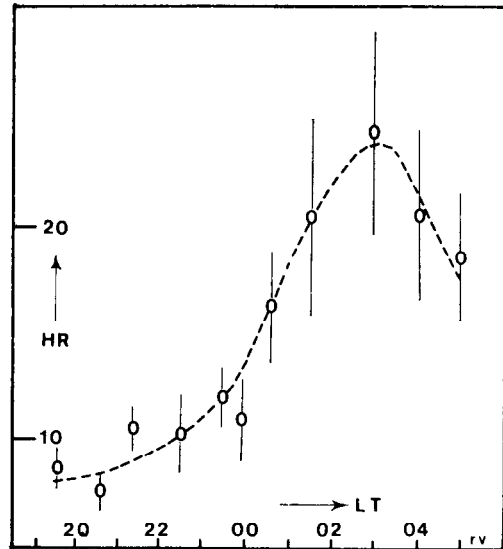
Wanneer de Aarde stil zou staan ten opzichte van de Zon, dan zouden sporadische meteoren gelijkmatig verdeeld zijn over de uren van de nacht. Maar doordat de Aarde om de Zon beweegt, lijken de meeste sporadische meteoren van de voorkant te komen (zie figuur 1-3).



Figuur 1-3

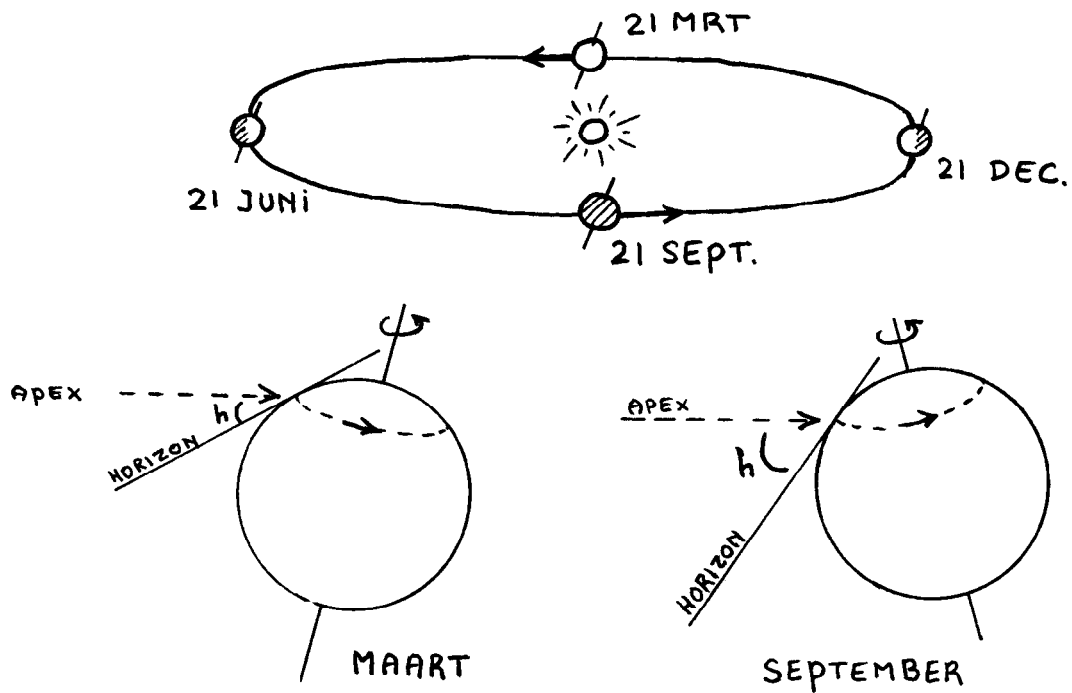


Sporadische meteoren komen dus vooral uit de richting van **het apex**, de bewegings richting van de Aarde. De meeste sporadische meteoren zijn te zien, wanneer het **apex** hoog aan de hemel staat, en dat is vroeg in de ochtend. Dit is ook de reden waarom van de meeste meteoroorzwermpjes de beste activiteit in de ochtenduren valt: dan staat de richting waaruit de meteoren komen (de radiant) het hoogst aan de hemel. Het verschil tussen avond en morgen kan een factor 2-3 zijn, vooral in de herfstmaanden (zie figuur 1-4). Dan zijn er elke willekeurige nacht minstens 5-15 meteoren per uur te zien. In het voorjaar zijn dat er maar 2-7 per uur (afhankelijk van de helderheid van de hemel natuurlijk en het tijdstip van de nacht).



Figuur 1-4

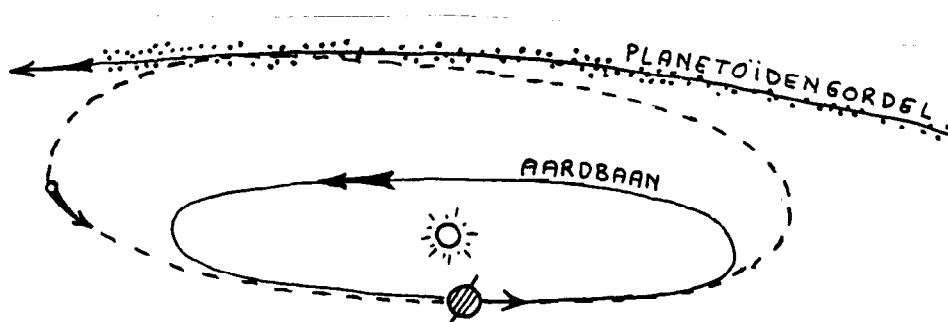
Dat de meeste sporadische meteoren verschijnen in de herfstmaanden, is omdat dan het apex het hoogste aan de hemel komt. En net als met zwermmeteoren zijn de meeste meteoren te zien wanneer de richting waarvan ze vandaan lijken te komen, het hoogste aan de hemel staat.



Figuur 1-5

Planetoïden

Planetoïden zijn brokken steen en/of metaal. Zij bewegen in bijna cirkelvormige banen tussen de planeten Mars en Jupiter. Al deze stenen samen vormen de planetoïden gordel. Af en toe kan zo'n steen door de reuzenplaneet Jupiter gestoord worden in zijn gang rond de zon. Of twee planetoïden botsen. In beide gevallen verandert de baan van de planetoïde zodat zij dichterbij de zon kan komen. Zij gaat uiteindelijk een baan beschrijven met het perihelium binnen de Aardbaan en het aphelium in de planetoïden gordel (zie figuur 1-6). Zo'n steen kan dan botsen met de Aarde.



Figuur 1-6

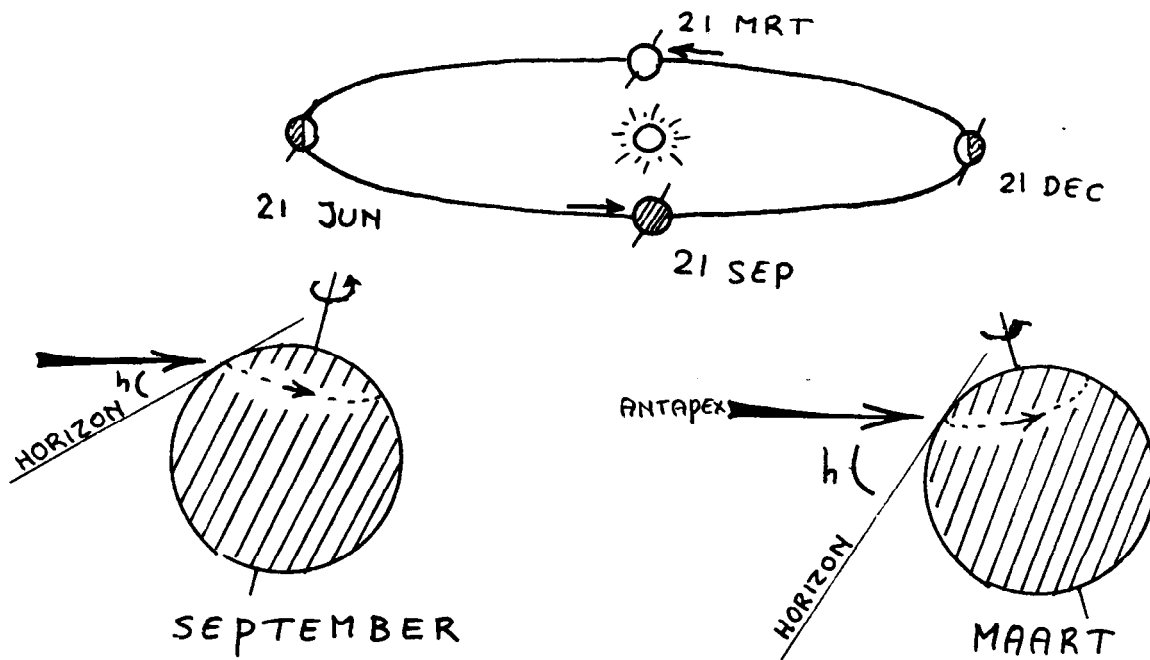
Het materiaal van een planetoïde is vrij stevig, zodat deze soms het neerstorten op Aarde overleeft. Wanneer de steen op Aarde wordt gevonden, heet zij **meteoriet**. Meteorieten zijn dus afkomstig uit de planetoïden gordel.

Bij haar tocht door de dampkring ontstaat een grote wrijving. De steen verdampt geleidelijk. Er ontstaat een dunne zwarte korst. De steen verdampt volledig wanneer de intree-snelheid te groot is, of de steen te klein is. Een steen die langzaam binnenkomt ($V_{\infty} < 25 \text{ km/s}$, ref. 1) en voldoende zwaar is, zorgt voor een mooie trage vuurbol en fragmenteert, waarna één of meer brokstukken op Aarde inslaan. In Nederland zijn met zekerheid brokstukken neergekomen in 1840, 1843 en 1925 (drie maal in de afgelopen twee eeuwen!). Een grote steen die niet het oppervlak van de Aarde haalde, heeft waarschijnlijk de Toengoeska explosie in 1908 (ref. 2) veroorzaakt. Als de intree-snelheid te groot is, zal de atmosferische druk op de steen zó hoog oplopen, dat de breekspanning overtreden wordt. De meteor toont dan een **eindflare**. De eindflare van de 100 meter grote Toengoeska meteor, was van magnitude -31. De explosie gebeurde op 8.5 km hoogte en was zo sterk, dat over 15 kilometer in de omtrek de bomen werden ontworteld.

Kenmerkend voor een uit de planetoïdengordel verbannen steen is, dat de baan bijna in het vlak van de planeten ligt ($i < 20^\circ$) en dat de bewegingsrichting altijd met de planeten mee (prograad) is. Zo'n planetoïde heeft in de buurt van de Aarde een hogere snelheid dan de Aarde zelf (want hij komt van een plek verder van de zon vandaan) en komt ongeveer uit de richting van het antapex (zie figuur 1-6). De planetoïde haalt de Aarde van achteren in.

Meteoren van planetaire oorsprong zijn zeldzaam. Ze hebben een trage tot medium snelheid en worden meestal tot de sporadische meteoren gerekend. Alleen bij de vuurbollen zijn de planetoïden herkenbaar. Ze dringen relatief diep in de atmosfeer door.

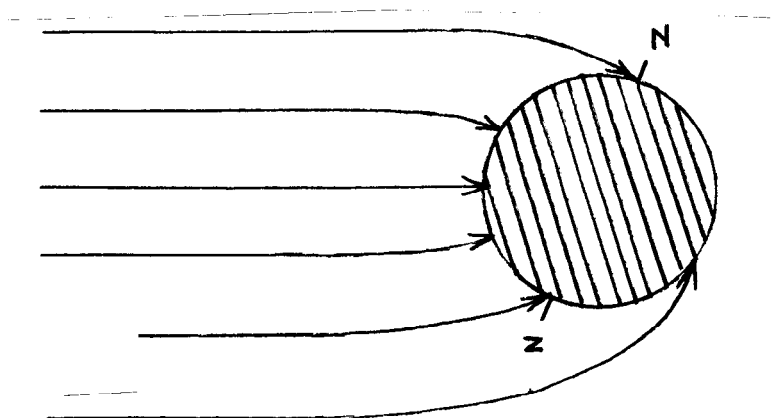
De meeste meteoren van planetaire oorsprong zijn te zien, als het **antapex** hoog aan de hemel staat. Figuur 1-3 en 1-4 laten zien, dat dat rond 6 uur 's-avonds is (lokale tijd) en figuur 1-7 laat zien, dat dat vooral in het voorjaar is. In het voorjaar beschrijft het antapex een grote boog aan de hemel, in het najaar maar een kleine. Voor het zuidelijk halfrond is dat natuurlijk omgekeerd.



Figuur 1-7

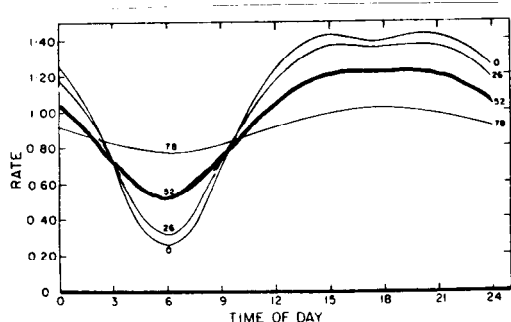
Omdat, eenmaal bij de Aarde aangekomen, het snelheidsverschil tussen planetoïde en Aarde maar heel klein is, is de aantrekkingskracht van de Aarde

belangrijk. Was de snelheid van de planetoïde heel groot ten opzichte van de Aarde, dan schoot zij de Aarde gemakkelijk voorbij. Nu het snelheidsverschil klein is, wordt zij sterk afgebogen (zie figuur 1-8). Daarom kunnen bijvoorbeeld ook meteorieten neerkomen op de Noord- en Zuidpool. Daarom kunnen meteorieten ook 's-ochtends vallen, hoewel de kans daarop 2.5 maal kleiner is dan dat een meteoriet 's-avonds valt.

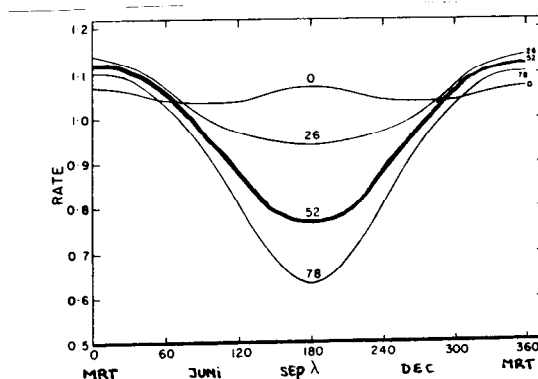


Figuur 1-8

Figuur 1-9 laat zien hoeveel meteoren er, relatief gezien, te zien zijn op verschillende tijdstippen van de dag (ref. 1). Figuur 1-10 laat zien hoeveel er, relatief gezien, te zien zijn op verschillende dagen van het jaar. De meeste meteoren (vuurbollen) afkomstig van planetoïden zijn te zien in de avond-uren en in de maanden februari tot april.



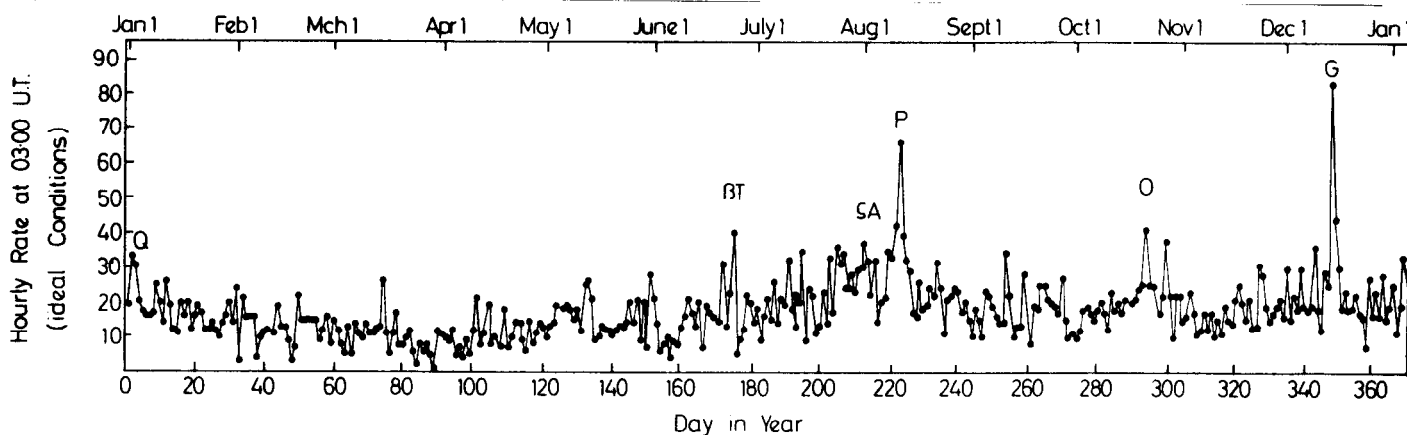
Figuur 1-9



Figuur 1-10

Samenvatting

Elke nacht zijn er meteoren te zien (figuur 1-11). Maar het aantal dat per uur kan worden gezien, verschilt sterk van nacht tot nacht, van uur tot uur, maar ook van waarneemplaats tot waarneemplaats.



Figuur 1-11 (ref. 4)

De meeste meteoren zijn natuurlijk te zien daar waar de hemel donker is en goed doorzichtig. Een maat daarvoor is de helderheid van de zwakste ster die nog net te zien is (de **grensmagnitude**). Als er bij een grensmagnitude van 5.0 in totaal 2 meteoren in een uur te zien zijn, dan zal een waarnemer die bij een grensmagnitude van 6.0 waarneemt er 7 in een uur zien, en de fortuinlijke waarnemer die een grensmagnitude heeft van 7.0, zal er maar liefst 25 zien!

Vooraf in de ochtend uren en in de herfstmaanden zijn er veel sporadische meteoren. Voor meteoriet-droppende vuurbollen is de kans echter het grootst dat zij in het voorjaar en in de avonden verschijnen. In bepaalde perioden van het jaar zijn er zwermen actief. De meeste zwermmeteoren zijn te zien wanneer de radiant hoog aan de hemel staat.

Referenties

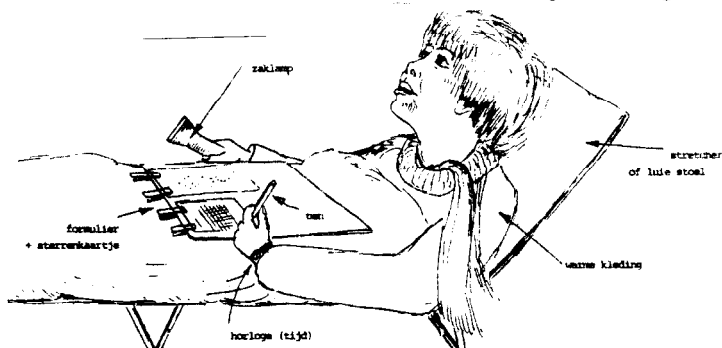
1. Halliday I., Griffin A.A.; *Meteoritics* 17 (1982) 31-46
2. Sekanina Z.; *Astron. J.* 88 (1983) 1382
3. Veltman R.; *Radiant* 5 (1983) 25-28
4. Hughes D.W.; *Cosmic Dust*, J.A.M. McDonnell (ed.), John Wiley and Sons (1978) Ch. 3.
5. Millman P.M.; in "Earth, Moon and Planets" F. Whipple (London, 1947) p.81

HOOFDSTUK 2

HET DOEN VAN VISUELE WAARNEMINGEN

Om visuele (blote oog) waarnemingen van meteoren te kunnen doen, heb je nodig:

1. NOTITIEVEL + KAARTEN
2. PEN
3. ZAKLAMP
4. HORLOGE
5. GEMAKKELIJKE STOEL OF STRETCHER



Er zijn dus geen dure hulpmiddelen zoals telescopen en fototoestellen nodig. De volgende handelingen worden verricht tijdens de voorbereiding, het starten van de waarnemingen, de waarnemingen zelf en na de waarnemingen.

Voorbereiding

1. ZET HET HORLOGE OP DE JUISTE TIJD (Bel 002). Of bepaal de afwijking met de juiste tijd. Op het notitievel kan deze afwijking (opgegeven in seconden) ingevuld worden bij " Δt ". Let er daarbij op dat Δt de tijd is die je op moet tellen bij de genoteerde tijdstippen om de juiste tijdstippen te krijgen.

Vb: Loopt de klok 24 seconden achter: $\Delta t = +24 \text{ s}$

Loopt de klok 2 seconden voor: $\Delta t = -2 \text{ s}$

START	23 h 00 m UT
Δt	- 7 s

2. BEDEK DE ZAKLAMP MET PAPIER. Anders wordt je s'-nachts verblind door het felle licht telkens wanneer je wat wilt noteren!. De lamp is voldoende afgedekt zodra je hem tegen je oog kunt houden zonder te worden verblind.

3. MAAK MET KARTON EEN STEVIGE ONDERGROND voor het notitievel en de kaarten. Bevestig vel en kaarten bijvoorbeeld met wasknijpers.

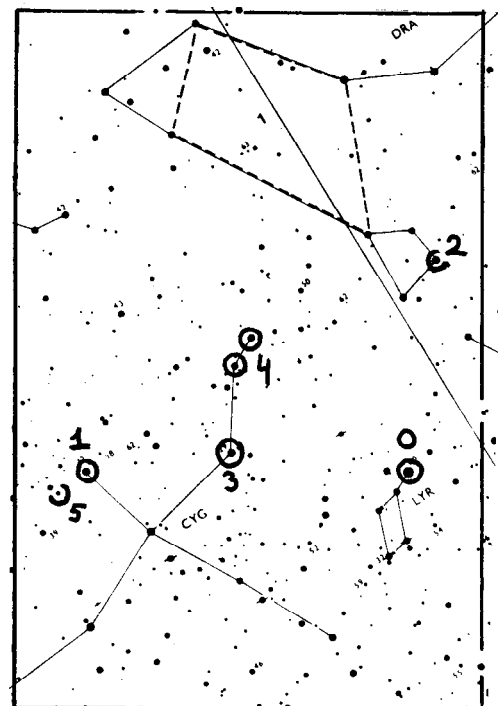
4. TREK WARME KLEREN AAN. Een aantal dunne lagen kleding houdt de lichaamswarmte goed vast. Een regenjas is heel goed als bescherming tegen koude wind. Neem eventueel warme dekens mee.

Vlak voor de waarneming

1. WACHT 10 MINUTEN. De ogen hebben een tijd nodig om zich aan te passen aan de duisternis. In die tijd kunnen de volgende dingen gedaan worden.
2. STEL DE STRETCHER OP, met het voeteinde in de richting van het meest interessante gebied aan de hemel (b.v. de radiant van de sterkste zwerm, of de donkerste plek aan de hemel).
3. NOTEER JE NAAM, WAARNEEMPLAATS (ADRES) EN DE DATUM op het notitievel.
4. ORIENTEER JE OP DE STERRENHEMEL. Waar staan de sterrenbeelden? Vergelijk die met de kaarten. Welke kaarten heb je nodig (gebruik zo weinig mogelijk verschillende kaarten)? Leg de kaarten zo dat de sterrenbeelden dezelfde orientatie hebben als op dat moment aan de hemel. Zoek de radianten van de actieve zwermen op.
5. ZOEK ENKELE STERREN OP MET BEKENDE MAGNITUDEN. Zoek een aantal sterren op met magnituden 0,1,2,3,4,5 en 6. Op de kaarten staat gegeven hoe helder een ster is. Bij een ster van magnitude 3.1 staat het nummer 31. Beweeg de ogen terwijl je je aandacht richt naar de ster. Probeer deze helderheid van de ster te vergelijken met de meteoren straks.

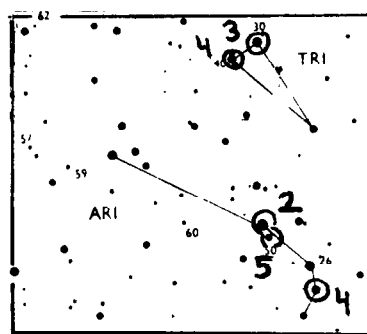
Bijvoorbeeld: In de zomer sterren in de Zwaan, de Lier en de Draak:

- 0 : WEGA (0.0)
- 1 : DENEK en ALTAIR (1.3 en 0.8)
- 2 : helderste ster van de Draak (2.0)
- 3 : δ -cygni (3.0)
- 4 : ι - en κ -cygni (4.0)
- 5 : ν -Cygni (bij DENEK: 5.0)



In de herfst de Voerman, de Driehoek en de Ram:

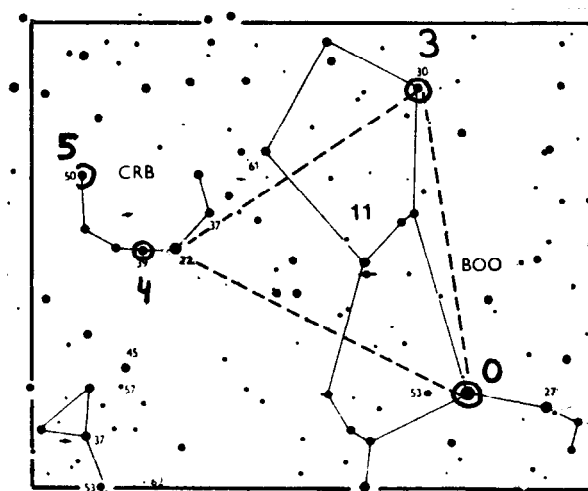
- 0 : Capella (0.1)
- 2 : α -Aries (2.0)
- 3 : β -Triangulum (3.1)
- 4 : γ -Aries (4.0) en γ -Tri (4.1)
- 5 : κ -Aries (5.0)



Figuur 2-2

In het voorjaar staan de sterrenbeelden Noorderkroon en de Ossenhoeder hoog aan de hemel:

- 0 : Arcturus (-0.1)
- 2 : de Poolster (2.0)
- 3 : γ -Bootis (3.0)
- 4 : γ -Corona Borealis (3.9)
- 5 : ι -Corona Borealis (5.0)



Figuur 2-3

Sommige planeten hebben negatieve magnituden: Jupiter (~ -2), Mars (~ -2), Saturnus (~ -1) of Venus (~ -4). In oproepen in Radiant worden de helderheden van de planeten gegeven, wanneer die voldoende hoog aan de hemel staan.

6. ZOEK MINSTENS TWEE GRENSMAGNITUDE GEBIEDJES OP. Deze zijn aangegeven op de kaarten. Kies gebiedjes die in de donkerste delen van de hemel staan (hoog boven de horizon). Meet hoe helder en doorzichtig de atmosfeer is door (zoveel mogelijk) sterretjes te tellen in deze gebiedjes. Tel ook de hoeksterren mee!

Noteer het resultaat op het notitievel:

GRENSMAGN.			P	G	%	F	C
Nrg	St	Mgr	van	tot			duur(m)
1	16	6.4	23.00		g		
1	17	6.5	23.15		g		
7	22	6.5	23.15		g		

NUMMER GEBIED →

AANTAL STERREN →

LATER OPZOEKEN →

↑ TIJDSTIP VAN DE TELLING (23^h15^m)

Zijn de 10 minuten voorbij? Begin dan de waarnemingen.

Tijdens de waarnemingen

1. NOTEER HET STARTTIJDSTIP en begin met waarnemen zodra het zo laat is. Let op: **ALLE TIJDSTIPPEN OPSCHRIJVEN IN UT** (= Universal Time oftewel Wereldtijd). In de zomer geldt voor Nederland: UT = zomertijd - 2 uur. In de winter geldt: UT = wintertijd - 1 uur. Omzeil de flauwekul van de zomertijd door het horloge het hele jaar door op UT te laten lopen.

2. BIJ ELKE METEOR NOTEREN:

nr	TIJD UT.	m _v	zwerm	s	kleur	S	h	dcv
613	23 04 02	2	P			60	70	0
614	23 10 12	4	P			60	80	20
615	23 12 45	0	P	2	g	60	30	30
616	23 17 00	5	—			50	50	0
617	23 22 30	4	δ AqrN			40	60	0

In ieder geval:

volg- nummer tijd(UT) helderheid (in magnituden) klassificatie P = perseide S = sporadische duur van een eventueel nalichtend spoor (in seconden uitgedrukt)

Wanneer mogelijk:

↑ ↑ ↑
 kleur snelheid hoogte boven de horizon

Eventueel:

↑
 afstand tot centrum van het gezichtsveld

Een korte toelichting op sommige gegevens:

Voor de klassificatie van meteoren is het nodig om te weten welke zwermen op dit moment actief zijn en waar precies de radiant van de zwermen liggen. Deze gegevens vind je in het laatste hoofdstuk van deze handleiding.

Kleurschattingen hebben alleen zin wanneer de beschrijvingen beperkt worden tot een paar herkenbare kleuren bij heldere meteoren ($m \leq 2$). Wit is geen kleur, dus ook niet noteren! Kleuren worden veroorzaakt door metalen in demeteoroïde. De volgende metalen zijn verantwoordelijk voor een kleur:

notatie:	kleur:	metaal:

r	rood	silicium
o	oranje	ijzer/silicium/natrium
g	geel	natrium
b	blauw-groen	magnesium
v	violet	kalium,calcium

Tabel 2-1

Snelheden kunnen vergeleken worden met de schijnbare snelheden van zwermmeteoren. Er kan dan ook een getal ingevuld worden bij S, nl:

notatie:	V_{∞} :	beschrijving:	bijvoorbeeld:

zt	11 - 20	zeer traag	draconide,capricornide
t	20 - 30	traag	tauride
m	30 - 45	medium	geminide, urside
s	45 - 60	snel	lyride,perseide
zs	60 - 72	zeer snel	orionide,leonide

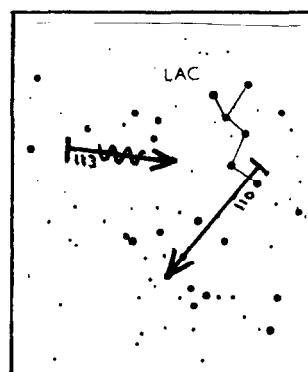
Tabel 2-2

De hoogte boven de horizon <evenals de DCV (Distance from Center of Vision)> opgeven in graden. Precies boven de waarnemer is 90. Halverwege de horizon is 45. De poolster staat in Nederland altijd op ongeveer 52 (de breedtegraad van de waarnemer).

2. INTEKENING MAKEN OP STERREKAART. Zie figuur 2-4. Noteer eventueel in de kolom "Intekening" cijfers voor de nauwkeurigheid van de intekening en het nummer van de kaart waarop de intekening staat (Krt). Het sterrenbeeld waarin de meteoroor verscheen (eventueel) PAS LATER INVULLEN bij "Stb":

INTEKENING			
r	b	e	StB Krt
3	3	Cas	7B
4	3	4	Lep 7B
3	2	Aqr	7B
4	4	4	Per 2A
3	3	Peg	7B

↑ richting ↑ begin ← eindpunt



Figuur 2-4

Waarbij: 1 = slecht, ruwe schets
 2 = ongeveer
 3 = redelijk
 4 = goede intekening
 5 = fotografische nauwkeurigheid

Een fotografische nauwkeurigheid wordt alleen bereikt wanneer de meteoroor midden door het beeldveld gaat en bovendien over of net langs duidelijk herkenbare sterren beweegt.

3. DE GRENSMAGNITUDE SCHATTEN. Elk uur tenminste één keer. Wanneer de helderheid van de hemel snel verandert natuurlijk vaker.

4. EVENTUELE PAUZES OPSCHRIJVEN. Noteer bij elke pauze, anders dan de pauze voor het opschrijven van de meteoroor gegevens, op het notitievel:

GRENSMAGN.			P	G	%	F	C
Nrg	St	Mgr	van	tot			duur(m)
			23.30	23.32	p		2 ^m
			00.02	00.12	0%	50	5 ^m

In deze kolom kunnen ook gegevens over het PERCENTAGE BEWOLKING (%), de concentratie van de waarnemer, tijdstippen van openen en sluiten van eventuele

fototoestellen, enz., genoteerd worden. De letter onder het zwarte blokje geeft aan om wat voor informatie het gaat.

Het notitieniveau is zo gemaakt dat er STEEDS OP ÉÉN LIJN gewerkt kan worden. Bij elke volgende handeling (ook bij het opschrijven van grensmagnitude schattingen en pauzes) gewoon naar een volgende regel stappen.

5. SCHATTEN HOE LANG JE EROVER DOET OM DE GEGEVENS VAN ÉÉN METEOR TE NOTEREN. Invullen bij "NOT TIJD/meteoor".

NOT TIJD/meteoor 20 s

6. HET EINDTIJDSTIP VAN DE WAARNEMING NOTEREN bij "einde wrn."

EINDE WRN	00 h30 m
-----------	----------

Na de waarneming

1. GA NA OF ALLE GEGEVENS LEESBAAR ZIJN. Let er ook op of er geen dubbele nummeringen zijn, of alle meteoren op de kaarten het juiste volgnummer hebben.

2. TEL DE WAARGENOMEN METEOREN. Invullen bij " N_{met} ".

3. BEREKEN:

* TOTALE NOTITIETIJD. De totale notitietijd is natuurlijk de notitietijd per meteor vermenigvuldigd met het aantal waargenomen meteoren ($N_{\text{met}} \times \text{NOT TIJD/meteoor}$). Invullen bij "NotT".

* TOTALE TIJD DAT ER GEPAUZEERD IS (optellen van de kolom "duur"). Invullen bij "P + %". Wanneer er bewolking was, eerst steeds uitrekenen hoeveel minuten verloren gingen ($\text{duur} = \% \times (\text{tot} - \text{van})$).

* TEL TOTALE NOTITIETIJD + PAUZES OP. Invullen bij "P/%/NotT".

* TOTALE DUUR VAN WAARNEMEN (EINDE WRN - START). Invullen bij "waarn duur".

* EFFECTIEVE WAARNEEMTIJD. $T_{\text{eff}} = \text{waarn tijd} - \text{P}/\%/\text{NotT}$. Invullen bij " T_{eff} ". Reken dit om naar decimale uren. Invullen bij "T".

Bv.: $T_{\text{eff}} = 2^{\text{h}} 15^{\text{m}}$ dan is $T = 2,25$.

4. VUL GRENSMAGNITUDE IN. Zoek in de tabel die op het omslag van dit handboek staat, welke grensmagnitude hoort bij het aantal waargenomen sterren in de telgebiedjes. Vul dat in in de kolom "Mgr".

Eventueel kan dan ook een gemiddelde grensmagnitude berekend worden. Houd dan wel rekening met de gaten in de tabel! Bijvoorbeeld: 10 sterren in de Draak, 7 in de Arend (Aquila) en 12 in Perseus is gemiddeld 5.8 en niet 5.5!. Vul de gemiddelde grensmagnitude in bij " $\bar{M}_{gr}$ ".

5. Bereken het midden van de waarnemings periode $(EINDE\ WRN + START)/2$. Opgeven in uren en minuten bij " t_m ".

6. Vul verdere informatie in bij "ATMOSFEER", "BEWOLKING", "OBSTRUCTIE", enz.

7. Maak een magnituden distributie van de meteoren van de grote zwermen en de sporadische meteoren en vul dat in op de achterzijde van het notitievel:

zwerm	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	m	n	M	n -	% -
P		1	1	0	5	2	2	3		2.71	14	1.74	4	29
SPRN							1			-	1	-	-	-
-					2	3	1	3	1	4.22	9	-	1	11

$\uparrow$ GEMIDDELTE MAGNITUDE
 $\uparrow$ TOTAAL AANTAL
 $\uparrow$ 3.25 - $m_3 + m_2$
 $\uparrow$ AANTAL + PERCENTAGE MALIGNTENDE SPOREN

Als alles is ingevuld, ziet het notitievel eruit zoals hiernaast als voorbeeld is gegeven.

8. STUUR WAARNEMINGEN OP, zo snel mogelijk na een actieperiode, naar het adres van de visuele verwerker (het adres staat in de lijst van nuttige adressen).

Alle kleine beetjes helpen! Denk dus niet: "Och, het is maar één nachtje...".

Succes met de waarnemingen.

EINDE WRN	h	m	p:	-	t _m :	T:	Mgr:	P + %	
waarn duur	h	m	ATMOSFEER ☐ transparant ☐ heig ☐ donker ☐ licht ☐ stadslicht ☐ maan tot/na						
P/% / NotT	h	m	BEWOLKING soort snelheid						
Teff	h	m	OBSTRUCTIE straal wng temp wind						

EINDE WRN	00 h 30 m	p: 25 ^h 00 - 00 ^h 30	tm:	T: 1.20	Mgr: 6.5	P. %	10 ^m
waarn duur	1 h 30 m	ATMOSFEER ☒ transparant ☐ heilig ☐ donker ☒ licht ☒ stadslicht ☐ maan tot/na					
P. % / NotT	h 18 m	BEWOLKING soort cumulus; na 00.30 peldicht snelheid vrij snel					
Teff	1 h 12 m	OBSTRUCTIE ————— straal wng > 60° temp 6°C wind NO zwak					

NA HET VERSCHIJNEN VAN EEN METEOR

In dit deel worden een aantal aanwijzingen gegeven, hoe te handelen zodra een meteor verschenen is. Oefening baart kunst en die kunst is hier vooral het aanleren van een vast patroon van handelen. Na het verschijnen van de meteor, moet het registreren als "vanzelf" gaan.

Wat te doen zodra een meteor verschijnt, hangt af van wat het doel van de waarneming is. Wil je algemene waarnemingen doen? Of wil je je concentreren op uurtellingen of intekeningen?

Algemene waarnemingen

Het doel van de waarnemingen is het tellen van meteoren en het verzamelen van zoveel mogelijk data die later helpen om eventuele kleinere zwermen te herkennen tussen de "sporadische" meteoren.

1. Begin met tellen (één-en-twin-tig, twee-en-twin-tig, etc.).
2. Laat de indruk van de meteor even op je inwerken (onthouden van helderheid en schijnbare snelheid, eventueel nalichtende sporen, kleur, etc.).
3. Hoe lang blijft het nalichtend spoor hangen?
4. Verleng het spoor van de meteor achterwaarts (denkbeeldig of met behulp van een touw of latje). Waar kwam de meteor vandaan (van welke heldere sterren, sterfiguren?). Wat is de plaats?
5. Noteer de tijd van je horloge (op dit moment), de helderheid, de klassificatie, etc.
6. Maak een intekening van het traject.
7. Vul de gegevens over de kwaliteit van de intekening in.

Het is duidelijk dat in dit geval de kwaliteit van de intekening nooit hoog kan zijn. Veel tijd wordt verloren aan het noteren van gegevens.

De tijdschatting is niet zo belangrijk! Eventueel kun je later bij "Δt" de tijd aftrekken die je gemiddeld nodig had om de positie van de meteor goed te bekijken (b.v. -20s). Voorkom in ieder geval dat je gaat rekenen: de meteor verscheen ongeveer 20 seconden geleden, dus dat wordt.... . Dan wordt het zéker een slechte intekening!.

Tellen van meteoren

Het doel van de waarnemingen is om vooral goede uurtellingen te doen van bekende meteorozwermen, zodat goede ZHR berekeningen gedaan kunnen worden. In dat geval verdient het de voorkeur om een cassetterecorder of een dicteerapparaat te gebruiken voor het registreren van de gegevens. Later kunnen dan de gegevens ingevuld worden op het notitievel. Op die manier wordt geen tijd verloren voor het maken van notities. Wie toch wil opschrijven, handelt als volgt.

1. Begin te tellen (één-en-twin-tig, twee-en-twin-tig, enz.). Schat hiermee de duur van een eventueel nalichtend spoor.
2. Klassificeer de meteor, beoordeel de helderheid en hoogte van de meteor.
3. Noteer de tijd (hooguit in minuten nauwkeurig), de klassificatie, de helderheid, de hoogte (en eventueel de DCV).

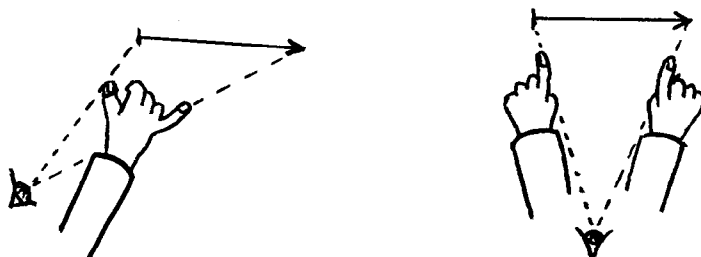
Bij inspreken op een cassetteband wordt dit bijvoorbeeld: "Perseide - 23,14,10 - Perseide van magnitude 4 op 25 graden, DCV 20)". Let op: het verdient aanbeveling om het gegeven dat het eerst wordt genoemd te herhalen, omdat de band soms wat langzamer opstart dan met de snelheid waarmee de waarnemer zijn ervaring aan hem kwijt wil. Controleer ook zeer regelmatig of de recorder wel goed functioneert.

Intekenen van meteoren

Het doel is een goede radiantbepaling te doen of het ontdekken van kleine zwermen.

1. Neem er de tijd voor om een spoor dat in het centrum van het gezichtsveld verschijnt goed ten opzichte van de sterren te memoriseren. Geef direkt na de waarneming met je handen de positie van begin en eindpunt aan.

Figuur 2-3



2. Bepaal de richting waarvandaan de meteor komt, ten opzichte van ver verwijderde heldere sterren.
3. Bekijk de positie van begin en eindpunt. Enige tijd na het passeren van de meteor zullen de zwakke sterretjes in de buurt van het spoor pas weer duidelijk worden (schrikeffect?).
4. Maak nu een intekening.
5. Noteer dan pas gegevens als helderheid, hoogte en klassificatie. Ook snelheid informatie is belangrijk om later zwermen te kunnen onderscheiden.

Het is zaak steeds rustig met je ogen langs de hemel te dwalen. Bij snelle oogbewegingen treden gemakkelijk verplaatsingen van het meteorspoor op ten opzichte van de hemelachtergrond. Ook verdraaiingen zijn mogelijk, waardoor zelfs de richting van de meteor onbetrouwbaar wordt. Dit is ook de reden, waarom alleen die meteoren geschikt zijn voor een goede intekening die midden in het gezichtsveld kunnen worden waargenomen.

Vaak worden ingetekende meteoren te lang weergegeven. Dit is een gevolg van het bovenmatig letten op de richting van de meteor. Let vooral ook op de plaats van begin en eindpunt. De lengte van een spoor zegt iets over de positie van de radiant. Meestal bevindt die zich namelijk op 2-4 spoorlengtes van het beginpunt van de meteor. Niet meer. Niet minder.

Het resultaat van dit soort waarnemingen is een lange notitietijd. De uurtellingen zullen minder nauwkeurig zijn, doordat veel meteoren gemist worden en de duur van de notitietijd moeilijk te meten is.

Ondersteuning van fotografische activiteiten

Een meteor fotograaf wil graag het tijdstip weten waarop de meteor die hij zojuist fotografeerde, verscheen. Zo'n tijdstip moet op de seconde nauwkeurig bekend zijn. Een fotograaf die ook visueel waarneemt, zal zich daarom richten op het tellen van meteoren.

Alleen bij het verschijnen van een heldere meteor (meteoren die mogelijk gefotografeerd zijn) meteen op de tijd te letten.

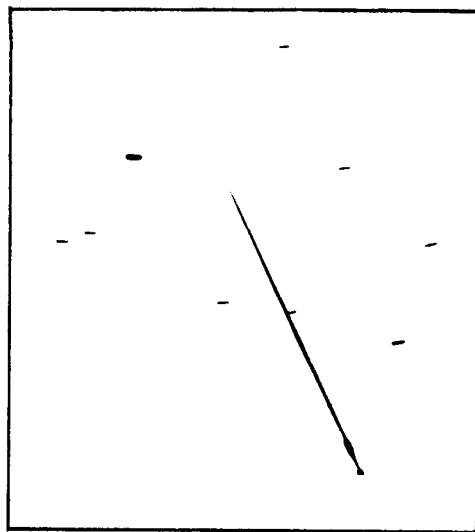
Indien de waarnemingen vaak onderbroken worden voor bijvoorbeeld het

doorspoelen van de films, is het zaak steeds nauwkeurig begin en einde van een pauze op te schrijven. Neem na elke pauze even (1 minuut?) de tijd om weer optimaal te concentreren. Op het notitievel kan het begin en einde van een opname als volgt genoteerd worden:

GRENSMAGN.			P		G		%		F		C	
Nrg	St	Mgr	van	tot							duur(m)	
		23	10:10	29:15	F				1			
			31:00	02:30	F				2			
			23:29	23:33	P							
		00	11:40	20:10	F							
			11:40	20:30	F				1			
			11:55	20:50	F							
			12:10	21:10	F							
			20:20		F							
			20:40		F				2			
			21:00		F							
			21:20		F							

In dit voorbeeld werd foto 1 werd belicht van $23^h10^m10^s$ tot $23^h29^m15^s$, foto 2 van $23^h31^m00^s$ tot $00^h02^m30^s$. Van 23^h29^m tot 23^h33^m werden de waarnemingen onderbroken.

Bij dit soort waarnemingen gaat meestal veel tijd verloren aan andere activiteiten. Dat kan de concentratie van de waarnemer nadelig beïnvloeden. Wanneer er meer waarnemers zijn die de fotografische activiteiten kunnen ondersteunen, dan kan de fotograaf bijvoorbeeld meteoren intekenen. In ieder geval geeft het voldoening om naast fotografisch werk ook visueel waar te nemen. Staat er later niets op de foto, dan is tenminste niet een waarneemnacht voor niets geweest...



TIPS BIJ HET VISUEEL WAARNEMEN

Een goede visuele waarneming heeft:

1. EFFECTIEVE WAARNEEMTIJD LANGER DAN 1 UUR
2. GRENSMAGNITUDE GROTER DAN 5.5
3. GEEN (OF ZEER WEINIG) BEWOLKING
4. GEEN HINDERLIJKE OBSTRUCTIE

Bewolking

Bij grote zwermen kan het ook lonend zijn om bij wat slechtere omstandigheden waar te nemen. Zo worden Bootiden en Geminiden vaak geplaagd door perioden van bewolking. Een korte opklaring van meer dan 20 minuten kan dan toch bruikbare informatie geven. Noteer in zo'n geval regelmatig het percentage bewolking op het notitievel. Geef eventueel aan welke perioden geheel helder waren.

Maan

Maanlicht kan zeer storend zijn. De hemel wordt erg licht, waardoor zwakke meteoren minder gemakkelijk opgemerkt worden. Wanneer regelmatig grensmagnitude bepalingen worden gedaan, kan hier echter vaak wel voor gecorrigeerd worden. Maar omdat die correctie erg onzeker is, en omdat er maar weinig meteoren gezien worden, zijn waarnemingen met storend maanlicht niet zo waardevol als waarnemingen bij een donkere hemel.

Een bril

Wanneer je sterren als kleine vlekjes ziet, heb je een bril of lenzen nodig! Laat je ogen eens testen bij een goede opticien. Dat is gewoonlijk gratis. Brillen zijn te koop met glazen lenzen of met kunststof lenzen. De laatste zijn gevoeliger voor krassen, die tijdens het waarnemen kunnen zorgen voor valse lichtflitsen. De hemel lijkt doorzichtiger (helderder) door een bril met super-ontspiegelde glazen. Dit soort glazen zijn voorzien van een extra coating, die ervoor zorgt dat er geen hinderlijke reflecties optreden. Zo'n extra coating is niet goedkoop (ca. 25 gulden per glas). Voor een optimaal

effect dient de bril voor het waarnemen goed vetvrij gemaakt te worden.

Lenzen

Vervelend van lenzen is dat ze uitdrogen tijdens de waarneming. Daardoor ontstaat een branderig gevoel in de ogen. Bij staren kunnen de lenzen verschuiven waarna de randen zorgen voor valse lichtflitsen. Ook een diepe kras in de lens kan daar voor zorgen. Na verloop van tijd worden lenzen ruw van oppervlak en wordt het beeld wat mistig. Net als met brillen is goed schoonmaken belangrijk. Het gebruik van lenzen is niet aan te bevelen. Lenzen bieden wel een groter gecorrigeerd veld voor de ogen. Zachte lenzen laten 94-96% van het licht door (ref. 1). De meeste harde en gas-doorlatende lenzen zijn licht gekleurd en laten daarom maar 85% van het licht door.

Slaap

Een regelmatige slaaperiode bevordert de algemene lichamelijke conditie. Een vermoeide waarnemer ziet weinig meteoren. Een hazeslaapje, enkele uren slaap vóór het waarnemen in de vroege ochtend, wordt in het algemeen door waarnemers op prijs gesteld.

Roken

Het effect van roken verschilt van waarnemer tot waarnemer. Een goed advies is om tijdens of vlak voor de waarnemingen niet te roken.

Alcohol

De gevoeligheid voor contrasten bij zwakke belichting verminderd door alcohol. Dat zal ten koste gaan van het opmerken van zwakke meteoren.

Voedsel

Het eten van voedsel of snoep verhoogt het suikergehalte van het bloed. Een te laag suikergehalte vermindert de prestaties van het oog. Ga dus niet waarnemen wanneer je hongerig bent.

Comfort

Het is belangrijk dat de waarnemer zich niet onbehaagelijk voelt tijdens de waarnemingen. Koude, vocht en verkramping zijn de grote boosdoeners. Extreme winterkou kan tegengegaan worden met veel kleding en dekens. Een goede slaapzak voorkomt koude tocht langs het lichaam. Een elektische deken is zeer handig, maar alleen toepasbaar wanneer een aansluiting op het elektriciteitsnet in de buurt is. Pas op met elektriciteit! Er liggen minstens drie vijanden op de loer: ongeduld, duisternis en vochtigheid.

Een regenjas houdt koude wind buiten. Een windscherm kan ook helpen, maar vormt soms een hinderlijke obstructie. Een meteoren observatorium heeft lage muurtjes (1 meter hoog).

Een gemakkelijke stoel of stretcher is één van de noodzakelijke hulpmiddelen. Een stretcher geniet de voorkeur, omdat daarmee gemakkelijk naar het zenit gekeken kan worden zonder gevaar voor nekkrimp.

Een stevige ondergrond voor kaarten en notitievel is noodzakelijk. Hoe gemakkelijker de gegevens in te vullen zijn, hoe plezierig



Dauw

Notatievellen en kaarten worden soms erg vochtig tijdens de waarnemingen. Bij een hoge luchtvochtigheid is het verstandig alle papieren te bedekken, steeds wanneer ze niet gebruikt worden. Het is niet moeilijk om een handige hoes of klapper te maken. Het gebruik van een pen of viltstift is af te raden in vochtige nachten. Een zacht potlood (type B of HB) is beter geschikt. Met potlood ontstaan geen vlekken of vegen en is ook nog te schrijven op vochtig papier.

Recorder

Een pocket memo, dicteer apparaat of cassette recorder is nuttig voor het vastleggen van gegevens tijdens waarnemingen. Voordelen zijn dat de hemel steeds in de gaten gehouden kan worden en de waarnemer niet steeds rechtop moet gaan zitten of uit zijn slaapzak moet kruipen. Nadelen zijn dat de

waarnemingen na afloop beluisterd moeten worden en de uitwerking veel meer tijd in beslag neemt. Bovendien gaat de registratie nog wel eens mis, doordat men niet steeds een overzicht heeft van alles wat tot op dat moment gedaan is. Batterijen raken leeg, bandjes raken vol, etc., waardoor waarnemingen vroegtijdig beëindigd moeten worden.

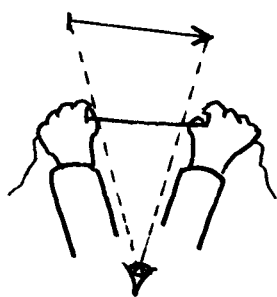
De nadelen zijn ten dele op te vangen door een goede voorbereiding. In ieder geval dient regelmatig in de nacht gecontroleerd te worden of de registratie naar wens verloopt. Veel voorkomende fouten zijn:

- er wordt te snel ingesproken nadat de band gestart is, waardoor het eerste deel van de informatie verloren gaat.
- bij pocket-memo's wordt de opname knop niet goed ingedrukt, of springt tijdens de waarnemingen terug.
- losse microfoons schieten los.
- het bandje is voortijdig vol.

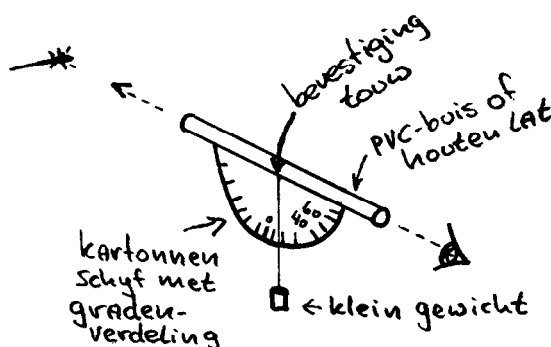
Een gewaarschuwd mens telt voor twee.

Lineaal

Voor het intekenen van meteoren is een lineaal noodzakelijk. Een voldoende lang exemplaar kan ook gebruikt worden, om op armlengte tegen het geprojecteerde meteoorspoor te houden. De richting van de meteor kan op die manier goed vastgelegd worden. Handiger hiervoor is een doorzichtige (geodriehoek) of heel dunne lineaal, en beter nog: een stukje touw.



Figuur 2-3



Figuur 2-4

De hoogte van de meteor kan iets nauwkeuriger geschat worden met een gradenboog, die eenvoudig van karton en een houten latje of PVC-buis gemaakt kan worden (figuur 2-4).

Zaklamp

Vocht zorgt ervoor dat de zaklamp na korte tijd al zwakker gaat schijnen. Om deze reden zijn de bekende "nachtschrijvers", pennen met een ingebouwd licht, vaak onbruikbaar.

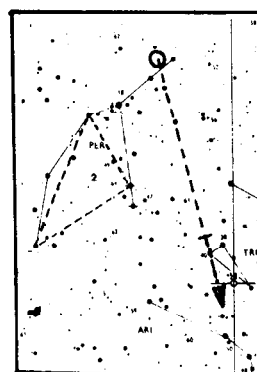
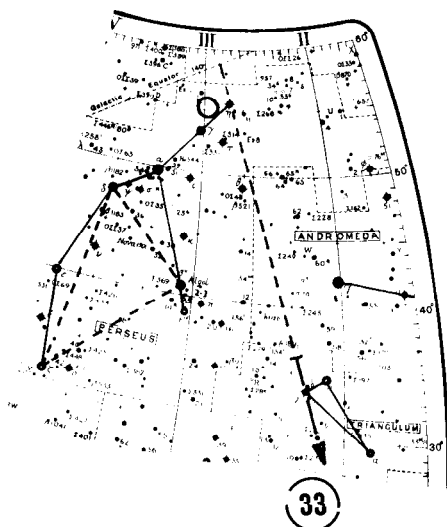
Zaklampen zijn er in allerlei uitvoeringen. Kies een zaklamp met een plastic of rubber omhulsel, zodat de batterijen afgesloten blijven van de buitenlucht. Wanneer een zaklamp niet gebruikt wordt, is het altijd verstandig deze in de slaapzak of onder je jas te beschermen. De zaklamp blijft dan steeds net iets warmer dan de buitenlucht, zodat er geen dauw op neerslaat.

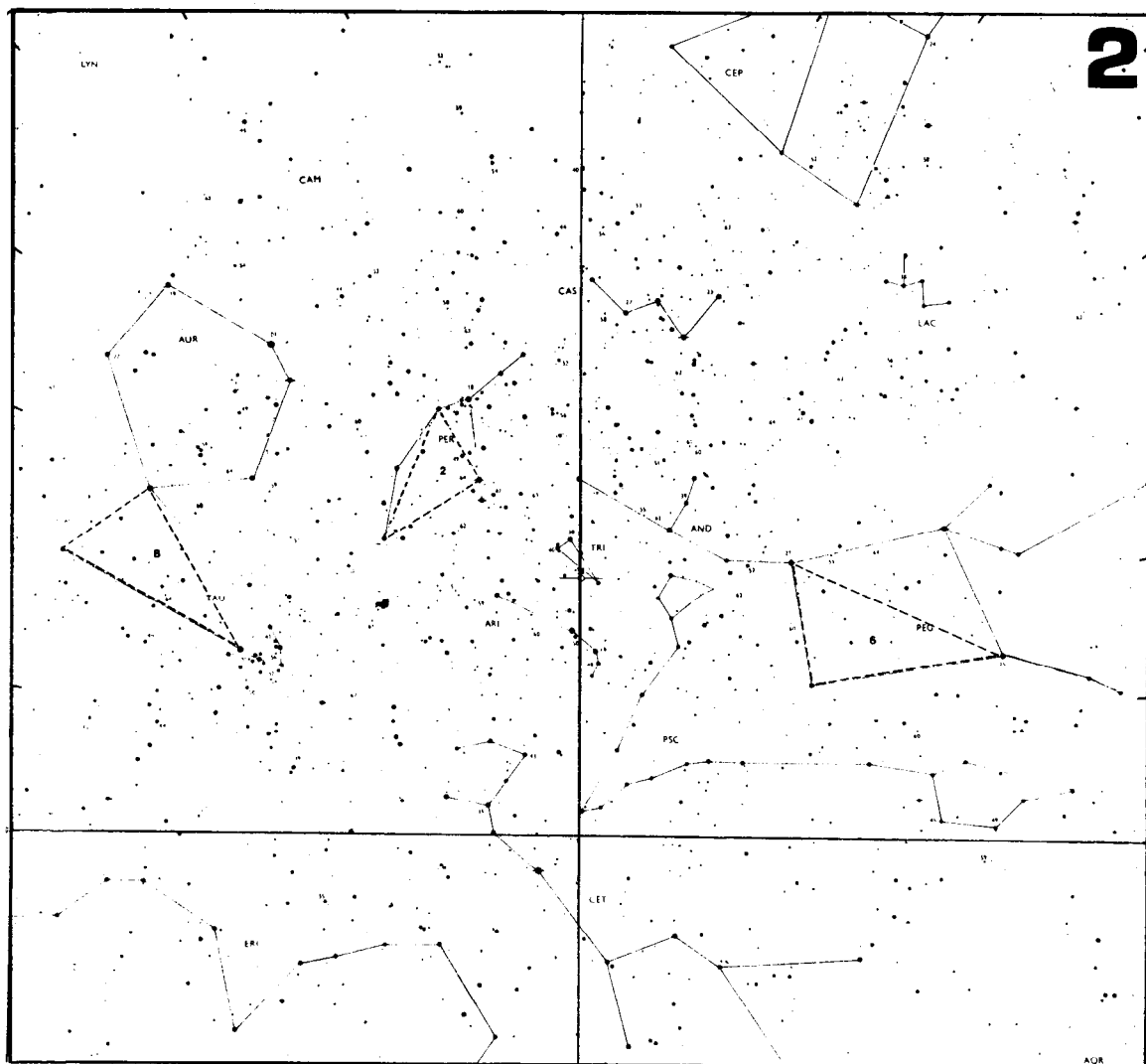
Batterijen kunnen sneller leegraken dan gepland. Het is verstandig om daarom altijd een setje reserve exemplaren klaar te hebben liggen. Na een waarnemingsnacht verdient het aanbeveling om de batterijen uit de zaklamp te halen en op een droge plaats te bewaren. Wat duurder zijn zaklampen die in een stopcontact opgeladen kunnen worden. Zij geven vaak veel licht en kunnen niet gedimd worden. Zorg voor een flinke demping.

Gnomonische kaarten

Een meteoorspoor kan niet ingetekend worden op een gewone sterrenkaart. Dat komt doordat de sterrenbeelden zo op de kaarten worden ingetekend, dat de figuren goed herkenbaar blijven. Een rechte streep aan de hemel, van bijvoorbeeld een meteoor, wordt op zo'n kaart echter een vreemde gebogen lijn. Het is duidelijk dat achterwaarts verlengen om de radiant van een zwerm te bepalen, door een rechte streep te trekken, op dit soort kaarten uit den boze is.

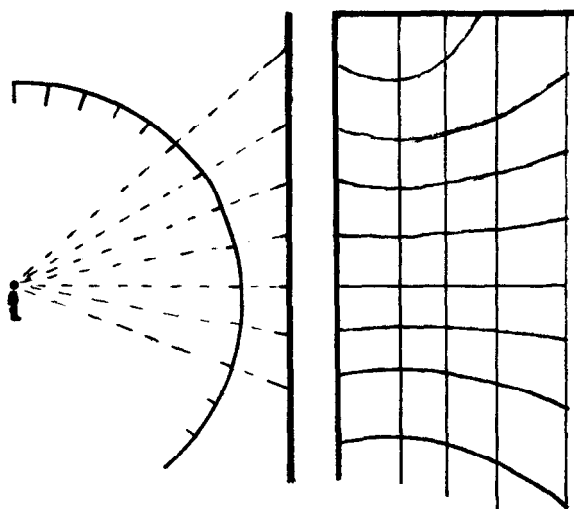
Figuur 2-5



[illegible]

Voor het intekenen van meteoren worden bijzondere kaarten gebruikt. DMS gebruikt een set van 7 kaarten die gemaakt zijn op het Skalnaté Pleso Observatorium in Tsjechoslowakye. Op de kaarten staan alle sterren tot magnitude 6 en sommige die nog zwakker zijn. Voor een gemakkelijke orientatie zijn de sterrenbeelden met dunne lijnen weergegeven. Bij sommige sterren staat de helderheid. Een ster van magnitude 4.9 heeft het getal 49. De gebieden voor grensmagnitude bepalingen zijn met onderbroken lijnen weergegeven. In het gebied staat het nummer. Let op: op sommige kaarten nummer 2 staat gebied nummer 2 verkeerd ingetekend. Dit gebied moet liggen tussen de sterren β , δ en ζ -Perseï i.p.v. tussen de sterren α , δ en ζ -Perseï. Hiernaast wordt deze kaart getoond, met het goede grensmagnitude gebied.

De sterrenbeelden vertonen grote vertekeningen aan de rand van de kaarten. Ze zijn veel meer uitgestrekt aan de rand, dan in het centrum van de kaart. Dat komt door de manier van projecteren. Wil een rechte lijn aan de hemel ook een rechte lijn op de kaart zijn, dan moet een bol op een plat vlak afgebeeld worden en wel op de manier zoals hieronder is weergegeven (figuur 2-6).



Figuur 2-6

Deze projectie van een bol op een plat vlak, heet de gnomonische projectie. Natuurlijk gaat dat projecteren in werkelijkheid niet door het trekken van lijnen, maar met behulp van een paar wiskundige formules, die het verband aangeven tussen de X en Y positie van een ster op de kaart en de rechte klimming (α) en declinatie (δ) van de ster aan de hemel (op de koepel):

$$X = R \tan (\alpha_0 - \alpha) \quad (2-1)$$

$$Y = R \tan (\delta) / \cos (\alpha_0 - \alpha) \quad (2-2)$$

In deze formules is R de straal van de projectie, bijvoorbeeld 75mm, en α_0 is de rechte klimming van de centrale meridiaan van de kaart, hier 45 graden. Het centrum van de kaart ligt nu op declinatie = 0.

Er is ook een kaart voor de hemelpool (nummer 1). Deze is rond en heeft de hemelpool als centrum. Deze kaart is gemaakt met een andere formule:

$$\rho = R / \tan (\delta) \quad (2-3)$$

waarbij ρ de afstand is van de ster tot de hemelpool, en R weer de projectiestraal.

Met deze formules kan ook zelf een gnomonische sterrenkaart gemaakt worden, wanneer de positie van de sterren bekend zijn. Let erop dat de kaarten niet zomaar aan elkaar geplakt kunnen worden om een lange meteor in te tekenen!

Notulant

Sommige (groepen) waarnemers werken met een notulant. Eén persoon noteert alle gegevens, waardoor de waarnemers onafgebroken naar de hemel kunnen kijken. Er moeten goede afspraken gemaakt worden over hoe de verschillende gegevens doorgegeven worden. Zeker wanneer met meer waarnemers wordt gewerkt. Op het notitievel kan aangegeven worden of er met een notulant gewerkt is.

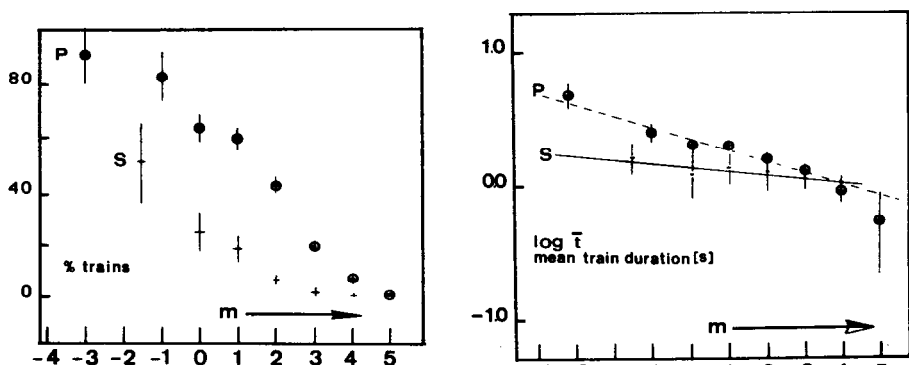
De notulant heeft de functie van een bandrecorder. Dit systeem heeft echter als voordeel dat na afloop van de waarnemingen niet nog veel tijd besteed moet worden aan het uitwerken van de waarnemingen. Ook houdt de notulant voortdurend een overzicht over het verloop van de waarnemingen. Een nadeel is dat fouten kunnen optreden door communicatie stoornissen en, veel belangrijker, dat één potentiële waarnemer op non-actief gezet wordt. Wanneer één van de aanwezigen niet wil of kan waarnemen, is dit een bruikbaar systeem. In andere gevallen moet steeds afgevraagd worden, of de notulant wel voldoening van zijn aktiviteit heeft. Hij neemt immers niet zelf waar en heeft daarom later ook niet een eigen registratie van zijn waarnemingen.

Eens wat anders...

Hieronder volgen een aantal suggesties voor visuele waarnemingen die de nadruk leggen op "eens wat anders".

1. Nalichtende sporen

Bij actieve zwermen tijdens hun maximum. Met een stopwatch, metronoom of slinger de tijdsduren nauwkeuriger schatten. Later kan een plaatje gemaakt worden van de tijdsduur als functie van de magnitude en van het percentage meteoren met een nalichtend spoor als functie van de magnitude.



Figuur 2-7

Bij een langdurig nalichtend spoor kan met een verrekijker (7x50mm bijvoorbeeld) soms de verwaaiing van het spoor gezien worden. Maak korte schetsen van het nalichtend spoor als functie van de tijd. De tijd moet gemakkelijk afleesbaar zijn, of op afroep worden gemeld door een andere waarnemer. De schetsen moeten snel gemaakt kunnen worden. Letten op enkele punten van het nalichtend spoor.

2. Kleuren

Simultaan waarnemen door kleurfilters. Gebruik goede glasfilters. Elke waarnemer een andere soort. Helderheden schatten en vergelijken. Een gele meteor zal door een geelfilter helderder zijn dan door een blauwfilter. Dat hangt natuurlijk ook af van de hoeveelheid licht die een filter doorlaat. Vergelijken met kunstmatige lichtbronnen. Belangrijk om goede schattingen te doen (tot op 0.5 nauwkeurig?). Misschien direct vergelijken met nabije sterren: "de meteor was even helder als alpha Cas".

Speciaal letten op de kleur van een meteor kan ook. Werkt alleen voor heldere meteoren. Percentages violet, blauw, blauwgroen, geel, oranje en rood worden gewoonlijk opgegeven voor alle meteoren helderder dan magnitude 2. Bij veel meteoren is het misschien mogelijk die als functie van de magnitude te bekijken.

3. Puntmeteoren

Een zeer zelfdzame gebeurtenis. Zaak is de positie van de puntmeteor zo goed mogelijk vast te leggen. Dit in verband met de (kleine) mogelijkheid dat het hier ging om een zgn. gamma-burster, opvlammende sterren. Beste methode is om iedereen die de puntmeteor zag, onafhankelijk van elkaar, een intekening op een sterrenkaart te laten maken. Kaarten klaarleggen! Helderheidsverloop schetsen.

4. Öpikken

Bepaal de kansfunctie van de waarnemers, ten opzichte van één van de aanwezige waarnemers, door alle waarnemers in dezelfde richting te laten kijken, b.v. naar een driehoek van sterren, bij voorkeur in het zenit. Hoogte (of zenitafstand) en helderheid van alle meteoren schatten. Dit soort waarnemingen kunnen op speciale notitievelen bijgehouden worden. Hiernaast een exemplaar. Ook voor gewone groepswaarnemingen is dit formulier geschikt. Bereken de gemiddelde magnitude en de gemiddelde zenitafstand later.

5. Bepalen van radianten

Let alleen op een gebied dicht bij de radiant van een grote zwerm. Teken alle meteoren nauwkeurig in. Goed op beginpunt en eindpunt letten. Eventueel met een verrekijker werken. Later kan de positie en de diameter van de radiant bepaald worden.

6. Lengte van meteoren

Uit nauwkeurige intekeningen van meteoren kan wellicht het verband afgeleid worden tussen de lengte van het meteoorspoor en de afstand tot de radiant. Dit kan verschillend zijn voor verschillende zwermen.

[illegible]

VERZAMELEN VAN WAARNEMINGEN

Op de post....

Stuur na het uitwerken de visuele waarnemingen zo snel mogelijk naar iemand die waarnemingen verzamelt, verwerkt en in een aktieverslag publiceert. Voor het DMS adres: zie adressenlijst voorin. Stuur je waarnemingen bij voorkeur onmiddellijk na een aktie, dan kan snel begonnen worden met de verwerking.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gem-Boot. ↓			Lyr. ↓			Aqr./Pers. ↓			Ori. ↓		Leo. ↓
10 jan.			1 mei			1 sept.			1 nov.		1 dec.

Tabel 2-4

Originele waarnemingen die aan DMS worden toegestuurd, worden in de regel gecopieerd en daarna geretourneerd. Meestal gaat dat wel goed, maar een enkele keer raakt een brief zoek in de post (maar vaker bij de waarnemers thuis!). Er kan natuurlijk geen aansprakelijkheid worden gesteld voor originele waarnemingen die zoekraken. Daarom: verstuur bij voorkeur copieën van waarnemingen. De waarnemingen worden bewaard in een archief. Mochten de waarnemingen later bij de waarnemer zoek raken, dan kunnen copien opgevraagd worden. Wanneer men een onderzoek wil doen, zijn na overleg de waarnemingen beschikbaar.

Porto (getallen per 1/4/1985)

	Als brief:		Als drukwerk:	
0-20 gram, een gewone brief:	0.75	....	0.65	....
20-50 gram, een dikke brief :	1.50	....	1.20	....
50-100 gr., een zware brief :	2.25	....	1.75	....
100-250 gr., zeer zware brief:	3.00	....	2.50	....
250-500 gr. pakje:	4.50	....	4.50	....

Een brief aangetekend verstuurd worden, maar dat kost 7 gulden (tot 250 gram).

Verzamelen is belangrijk

Er zijn waanzinnig grote aantallen meteoren nodig om een beetje nauwkeurig resultaat te krijgen. Als een waarnemer zegt dat de ZHR van een zwerm de vorige nacht 10 was, dan liegt hij zeer waarschijnlijk. Hij kan wel zeggen dat de ZHR op grond van zijn waarnemingen 10 was, maar dan kan de ZHR in werkelijkheid wel 20 of maar 5 zijn. Hij kan toevallig wat meer of juist wat minder meteoren hebben gezien. Eén waarnemer ziet in een gemiddelde nacht bijvoorbeeld 10 meteoren van een zwerm. Wanneer hij alleen voor zijn eigen waarnemingen een ZHR berekend, dan is de onzekerheid in zijn waarneming minstens 30%. De onzekerheid in de gemiddelde magnitude is ook groot: minstens 20% bij 10 meteoren. Hij kan er met 10 meteoren gemakkelijk heel ver naast zitten: misschien was één van die 10 meteoren toevallig een vuurbol.

Een groep waarnemers kan in dezelfde periode zo'n 100 meteoren waarnemen van een zwerm. Dan zijn de onzekerheden al kleiner, maar nog steeds 10% voor de ZHR en 7% voor de gemiddelde magnitude. Pas bij 10000 meteoren is de onzekerheid 1%. In de praktijk is de fout nog veel groter dan hier gegeven. De ene waarnemer heeft misschien betere ogen dan de andere en ziet daardoor systematisch meer meteoren. Of hij schat de helderheden van de meteoren systematisch te laag. In beide gevallen wijkt het eindresultaat af van de "echte" waarde.

Het is duidelijk dat er zéér veel waarnemingen van verschillende waarnemers nodig zijn om tot een betrouwbaar resultaat te komen.

Referenties

1. Bowen K.P.; Sky & Telescope (1984) 321
2. P. Roggemans, H. Betlem; "FEMA Handboek Visuele Waarnemingen" (1980)
3. Veltman R.; "Het nieuwe visuele waarnemingsformulier" Radiant 6 (1984) 59
4. Veltman R.; "Visuele resultaten Perseïden aktie 1983" Radiant 5 (1983) 111

HOOFDSTUK 3

HET VERWERKEN VAN DE VISUELE WAARNEMINGEN

De volgende gegevens kunnen verzameld zijn:

1. EEN TIJDSTIP
2. UURTELLINGEN
3. MAGNITUDEN
4. NALICHTENDE SPOREN

Helaas zeggen deze gegevens ons weinig, want:

1. Een tijdstip in een jaar is niet hetzelfde als een plaats in de wolk van meteoren.
2. Een uurtelling wordt beïnvloed door de hoogte van de radiant en de helderheid van de hemel.
3. Magnitudenverdelingen worden beïnvloed door de kansfunctie van de waarnemer. Is iemand een ervaren waarnemer? Heeft hij goede ogen? In die gevallen zal hij veel meer zwakke meteoren zien.
4. Het voorkomen van nalichtende sporen, hangt onder andere af van de helderheid van de meteoren.

In dit hoofdstuk worden enkele methoden beschreven, waarmee uit de resultaten van visuele waarnemingen, zinvolle (fysisch interessante) gegevens kunnen worden afgeleid.

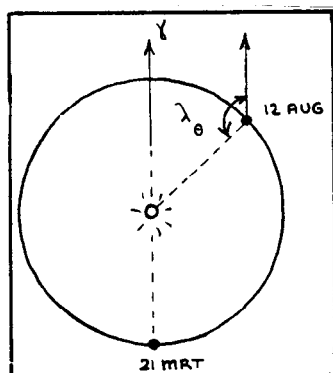
HET TIJDSTIP: DE ZONSLENGTE

Vaak wordt gezegd dat de Perseïden zwerm haar maximum heeft "in de nacht van 11 op 12 augustus". Veel leken nemen daarom alleen in die nacht meteoren waar. Iemand die ook op andere nachten meteoren heeft geteld, zal het zijn opgevallen dat het ene jaar de Perseïden hun maximum hebben in de nacht van 11 op 12 augustus, maar een ander jaar in de nacht van 12 op 13 augustus. Dat heeft niets met de structuur van de Perseïdenzwerm te maken, maar alles met onze dagtelling. De Aarde is namelijk niet elk jaar op 12.0 augustus op

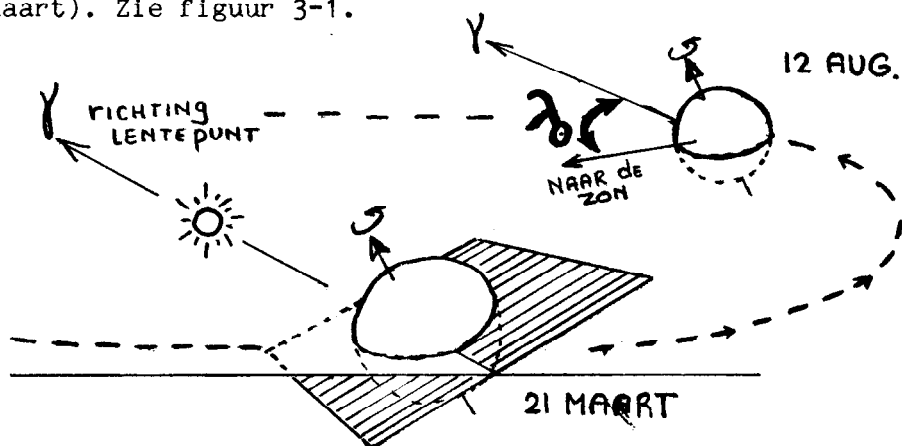
precies hetzelfde punt in haar baan. Feitelijk is zij elk jaar op die datum $1/4$ dag minder ver gekomen. Een jaar telt immers 365 dagen, maar één omloop om onze zon wordt pas in 365.25 dagen afgelegd. Wanneer daar niets aan gedaan zou worden, dan zou 12 augustus na 720 jaar midden in de winter vallen... Om toch niet langzaam een verschuiving van de seizoenen te krijgen, wordt er elke 4 jaren één dag bij het jaar geteld: de schrikkeljaren (behalve in schrikkeljaren die eindigen op 00, bv. in het jaar 2000).

Het maximum van de persefiden ligt bij zo'n vast punt in de Aardbaan. Wanneer iemand elk jaar op 12.0 augustus gaat kijken, dan zit hij het ene jaar een kwart dag ná het maximum, het andere jaar misschien precies op het maximum, weer een jaar later zit hij een kwart dag vóór het maximum en het daaropvolgende jaar zelfs een halve dag ervoor. Zijn uurtellingen zullen dus flink verschillen van jaar tot jaar.

De meteoorastronoom werkt daarom niet met tijdstippen zoals "om 2 uur UT in de nacht van 11 op 12 augustus", maar met de plaats van de Aarde in haar baan. De Aardbaan kan verdeeld worden in 360 graden. We kiezen het nulpunt in de richting van de plek aan de hemel waar het vlak door de Aardse evenaar en het vlak door de planeten elkaar snijden. Dit punt heet het **lentepunt** (hier is de Aarde ongeveer op 21 maart). Zie figuur 3-1.



Figuur 3-1



De positie van de Aarde is nu gegeven door de richting waarin de zon staat, vanaf de Aarde gezien. Deze richting heet de "lengte" van de zon of de **zonslengte** (symbool: λ_0).

Zo'n richting moet ten opzichte van iets gegeven zijn. Van een object op Aarde zeggen we dat de richting, het Azimuth, bijvoorbeeld 20 graden is. Dat betekent dat het object 20 graden rechts van het Zuiden staat. Dat had ook 20

graden rechts van het Noorden kunnen zijn, of 20 graden links van het Zuiden. Een zonslengte wordt altijd opgegeven ten opzichte van de richting van het **lentepunt**. Dit lentepunt is de richting waarin het vlak door de Aardse evenaar het vlak door de planeten snijdt, en wel de richting waarin de zon staat in de lente.

De zonslengte is nu de hoek tussen de lijn zon-lentepunt en de lijn zon-Aarde. Het symbool voor zonslengte is: λ_0 . De zonslengte van de Aarde in figuur 3-1 is 139.4 graden. Dit is de zonslengte die hoort bij het maximum van de Perseïden. In 1988 valt dat punt om 11 uur UT op 12 augustus en valt het maximum in de nacht van 11/12 augustus. In 1989 echter is het maximum om 17 uur UT, in 1990 om 23 uur UT en in 1991 om 05 uur UT. In die jaren valt het maximum in de nacht van 12/13 augustus. In 1992 zijn we weer 4 jaar verder zodat in 1992 (schrikkeljaar!) het maximum weer zal vallen in de nacht van 11/12 augustus.

Het vervelende van de zonslengte is, dat de referentie richting, de richting van het lentepunt, niet constant is. Door de precessie van de draaias van de Aarde verschuift dit punt met +0.01396 graden per jaar. Daarom is afgesproken om zonslengten altijd op te geven ten opzichte van de richting van het lentepunt in het jaar 1950 (op 0 januari om 0 uur UT). We zeggen dan dat de zonslengte gegeven is voor **equinox 1950.0**.

Het omrekenen van een tijdstip naar een zonslengte

1. Tel het aantal dagen sinds 0 januari 1988 om 0h UT (A).

voorbeeld: Het tijdstip is 21 april 1988, 03h25m12s UT	
In dagen uitgedrukt is dit: 21,1425 april 1988.	
Dagen sinds 0 januari 1988:	31 voor januari
	29 februari (schrikkeljaar!)
	31 maart
	+ 21,1425 april
Opgeteld:	A = 112,1425 dagen.

2. Bereken B, met B:

$$B = \frac{360}{365.242191} \times A + 278.895227 - 282.731947$$

* 365.242191 is het aantal dagen in een tropisch jaar.

* 278.895227 is de geometrisch gemiddelde zonslengte van 0 januari 1988, 0 uur UT. De zonslengte die berekend wordt, is voor equinox 1988.0!

* 282.731947 is de gemiddelde zonslengte van het perigeum, het dichtste punt van de Aarde bij de zon (ook op 0 januari 1988, 0 uur UT).

B is nu uitgedrukt in graden. Zorg er eerst voor dat het resultaat tussen 0 en 360 graden ligt, door een aantal keer 360 ervan af te trekken, of erbij op te tellen. Reken dan B om in eenheden van radialen: $B \times 3.141592654/180$

In ons voorbeeld is B: 106.6962387 graden, of 1.862200664 radialen.

3. Bereken C, met C gegeven door:

$$C = e \times \sin(C) = B$$

* $e = 0.01671339$, de excentriciteit van de Aardbaan. C kan niet direkt gevonden worden door simpelweg B in te vullen in de formule. C kan wel gevonden worden in enkele stappen via:

$$C_1 = B + 0.01671339 \times \sin(B)$$

$$C_2 = B + 0.01671339 \times \sin(C_1)$$

$$C_3 = B + 0.01671339 \times \sin(C_2)$$

enzovoorts, net zolang totdat het getal C in de rekenmachine niet meer verandert. Let erop dat B en C in radialen zijn uitgedrukt en dat het commando sinus daarom op radialen moet zijn ingesteld!

Ons voorbeeld geeft: $C_1 = 1.878209416$ $C_3 = 1.878130898$ $C_5 = 1.878130896$
 $C_2 = 1.878130499$ $C_4 = 1.878130896$

Het goede resultaat volgt al na 4 stappen!

4. Bereken D, met D gegeven door:

$$\tan (D/2) = \tan (C/2) \times \sqrt{\left(\frac{1+e}{1-e} \right)}$$

Let op dat ook het commando tangens op radialen is ingesteld! Reken vervolgens D om naar graden: $D \times 180/3.141592654$

Ons voorbeeld geeft: $D = 1.894021753$ radialen, en dat is 108.5194528 graden.

5. Bereken de zonslengte λ_0 (1988.0) nu met:

$$\lambda_0 (1988.0) = D + 282.731947 \text{ graden}$$

Als de zonslengte kleiner is dan 0 graden, dan 360 graden optellen bij het antwoord, als de zonslengte groter is dan 360 graden, dan 360 graden aftrekken.

Uit ons voorbeeld volgt:

$$\lambda_0 (1988.0) = 391.2513998 - 360 = 31.2513998 \text{ graden.}$$

Door storingen in de baanbeweging van de Aarde: maan en planeten versnellen of vertragen de gang van de Aarde een beetje, zodat de werkelijke positie van de Aarde wat kan afwijken van het berekende resultaat. Voor een precies resultaat, dat nauwkeuriger is dan ongeveer 5 minuten in het tijdstip, moet de Astronomische Almanak (1) geraadpleegd worden. Daarin staan tabellen van de precieze zonslengte op verschillende data. Interpolatie van de data voor 21.0 en 22.0 april geeft voor 3h25m12s UT een zonslengte van 31.252313 graden. Het verschil met de hierboven berekende waarde is -0.0009 graden.

6. De zonslengte is gevonden voor equinox 1988.0. Reken het resultaat om naar equinox 1950.0:

$$\lambda_0 (1950.0) = \lambda_0 (1988.0) - 38 \times 0.01396$$

Ons voorbeeld geeft (afgerond): $\lambda_0 (1950.0) = 30.721$ graden.

Toelichting bij de gebruikte formules en de betekenis van parameters B, C en D wordt gegeven in referentie 2.

MAGNITUDEN EN MASSA DISTRIBUTIE

Voer magnituden schattingen zorgvuldig uit. Uit goede waarnemingen kan berekend worden of de meteoroorzwerf veel of juist weinig grote stofjes heeft. Hieronder volgt hoe uit een magnituden distributie, een massa distributie berekend wordt.

De magnituden distributie $N(m)$

Een magnituden distributie geeft het aantal meteoren van 6, van 5, van 4, enz.

voorbeeld:

m_v :	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6

$N(m)$:	1	2	3	5	10	29	48	32	10	1

De magnituden distributie index r

De waargenomen magnituden distributie is anders dan ware aantallen distributie van meteoren in de atmosfeer. Dat komt omdat heldere meteoren gemakkelijk opgemerkt worden, terwijl de zwakke meteoren bijna allemaal gemist worden. Met een telescoop of verrekijker zie je die zwakke meteoortjes juist weer wel.

De ware magnituden distributie heeft de vorm:

$$n(m) = n(0) r^m$$

In woorden: het aantal meteoren neemt exponentieel toe voor grotere magnituden (zwakkere meteoren). Zo'n exponentieel verband ontstaat wanneer bijvoorbeeld botsingen de stofjes in stukken breken. Het getal r heet de magnituden distributie index en is de verhoudingsgewijze toename van het aantal meteoren bij een magnitudeverschil van +1.0.

De waargenomen magnituden distributie heeft de vorm:

$$N(m) = n(0) P(m) r^m$$

$P(m)$ heet de kansfunctie. Voor elke magnitude is er een getal dat aangeeft hoe groot de kans is dat een meteor wordt gezien. Voor heldere meteoren is die kans nagenoeg 1. Voor meteoren die zwakker zijn dan de grensmagnitude, is de kans 0. Figuur 3-2 laat zien wat het effect is van zo'n kansfunctie.

Figuur 3-2

Het probleem is nu dat $P(m)$ in principe verschillend is voor elke waarnemer en bovendien nog afhangt van de waarnemings omstandigheden, de conditie van de waarnemer enz. Er zijn drie manieren om dit probleem op te lossen en een ware magnituden distributie te berekenen uit de waargenomen magnituden distributie.

1. $P(m)$ wordt bepaald met de methode van Öpik (zie hoofdstuk 2).
2. Neem een standaard kansfunctie aan.
3. Ontwik de kansfunctie door een vergelijking te maken met de magnituden verdeling van sporadische meteoren.

1. De methode van Öpik

Van de eerste methode is het principe eenvoudig. Een groot aantal waarnemers kijken naar dezelfde plek aan de hemel. Samen zullen ze alle meteoren, ook de zwakkere wel waarnemen, maar elke waarnemer afzonderlijk ziet maar een deel daarvan. $P(m)$ is nu het percentage meteoren van magnitude m dat één waarnemer heeft gezien.

In praktijk werkt de methode iets anders. Bovenstaand verhaal veronderstelt dat een groot aantal waarnemers alle meteoren zien. Maar dat is niet het geval. Er is altijd een kans dat niemand van de

waarnemers een (zwakke) meteor opmerkt. Natuurlijk is die kans heel klein als er erg veel waarnemers tegelijk naar een plekje kijken, maar de kans is niet nul.

Öpik bedacht dat het aantal meteoren dat waarnemers A en B samen zien gelijk is aan het aantal meteoren dat waarnemer B ziet, vermenigvuldigd met de kans dat waarnemer A zo'n meteor ziet:

$$n_{A,B} = n_B \times P(A) = n_A \times P(B)$$

Uit deze formule van Öpik is volgt direkt de kansfunctie voor waarnemer A en die voor waarnemer B. De nauwkeurigheid wordt sterk verbeterd wanneer er meer dan twee waarnemers naar een plek aan de hemel kijken. Voor 4 waarnemers bijvoorbeeld wordt de formule van Öpik (ref. 6) :

$$P_A(m) = \frac{n_{A,B} + n_{A,C} + n_{A,D}}{n_B + n_C + n_D}$$

Ga als volgt te werk. De waarnemers spreken een klein figuur van zwakke sterren af waarnaar zal worden gekeken. Elke waarnemer roept wanneer hij/zij een meteor ziet, ook wanneer die aan de randen van het gezichtsveld verscheen. Elke waarnemer die de meteor zag geeft, ieder voor zich, zijn/haar helderheid schatting door. Die afzonderlijke schattingen kunnen dan worden gemiddeld, wat een nauwkeuriger resultaat geeft. Een notulant noteert deze gegevens op speciale waarnemings formulieren.

Ook wordt elk (half) uur door alle waarnemers afzonderlijk de grensmagnitude (L_m) geschat. De kans $P_A(m)$ verandert namelijk wanneer de grensmagnitude verandert. Veronderstel dat de kansfunctie verschuift, maar niet verandert van vorm. Dan moet elke magnitude eerst gecorrigeerd worden volgens $m = m - 6.5 + L_m$, voordat de kansfunctie bepaald wordt. Rond elke gemiddelde (en gecorrigeerde) magnitude af naar een heel getal en bepaal daarna $P(m)$ volgens bovenstaande formules.

Voor een goed resultaat moeten zéér veel meteoren worden waargenomen. Alleen voor de sterkste zwermen zijn die misschien beschikbaar. Daarom neemt men meestal zijn toevlucht tot methode 2 of 3.

2. Een standaard kansfunctie

In Tsjechoslowakije (ref. 4) zijn veel waarnemingen gedaan door het Skalnaté Pleso team in de jaren veertig en vijftig. Daaruit is een kansfunctie berekend die vaak als standaard kansfunctie wordt gebruikt (zie tabel 3-1).

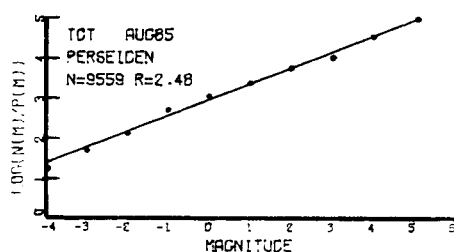
m	P(m)	m	P(m)	m	P(m)
≤-6	1.00	-2	0.73	2	0.343
-5	0.98	-1	0.57	3	0.232
-4	0.95	0	0.48	4	0.064
-3	0.87	1	0.420	5	0.008

Tabel 3-1: De standaard kansfunctie

De magnituden distributie index (r) en het aantal meteoren van magnitude 0 (n(0)) kan gevonden worden door de voorgaande vergelijking te schrijven als:

$$\log \left(\frac{N(m)}{P(m)} \right) = \log n(0) + m \log r$$

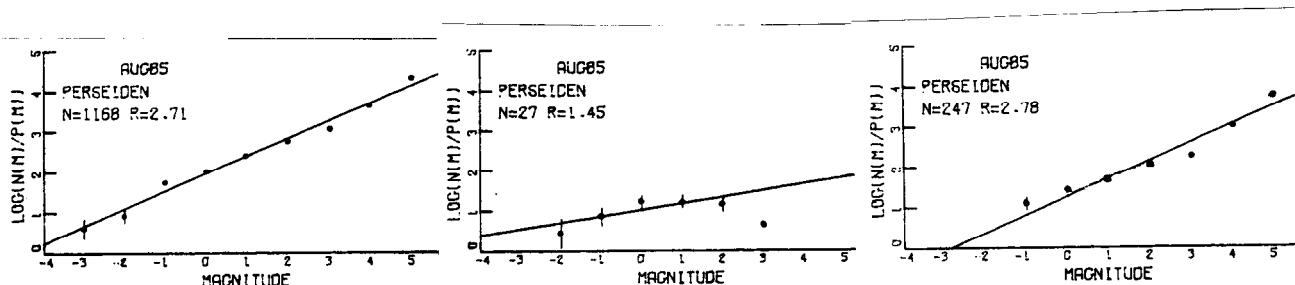
Deze vergelijking heeft de vorm: $y = a + b x$. Zet $\log \left(\frac{N(m)}{P(m)} \right)$ uit tegen m. De rechte lijn door de punten levert als richtings coefficient log r en de Y-as afsnijding $\log n(0)$. Een voorbeeld staat hieronder.



Figuur 3-3

De zo gevonden waarde voor r is alleen goed wanneer een waarnemer eenzelfde kansfunctie heeft als de standaard kansfunctie. Strikt gesproken moet de waarnemer dan op 45 graden hoogte kijken, een vrije (heldere) hemel hebben tot op 10 graden hoogte en bovendien een Tsjech zijn. Zelden is dit het geval, zodat men zijn toevlucht tot andere methoden neemt.

Dit soort figuren zijn wel zeer geschikt om te zien hoe de eigen kansfunctie verschilt van de Tsjechische standaard curve. Als de figuur sterk afwijkt van een rechte lijn, dan is er meestal sprake van systematische fouten in de magnitude schattingen (figuur 3-4).



Figuur 3-4:

Links in figuur 3-4 is een grafiek van een zeer ervaren waarnemer. Hij ziet over het hele bereik van m meer meteoren. De r waarde die uit deze figuur volgt is veel hoger dan de echte waarde.

Beide andere grafieken ontstaan bij slechte magnitude schattingen. De grafiek in het midden is typisch voor een onervaren waarnemer. In de rechter grafiek worden de zwakke meteoren systematisch te zwak geschat.

3. Vergelijken met sporadische meteoren

Er is een verband tussen r en de gemiddelde magnitude $\langle m \rangle$. Zwermen met een hoge magnitude distributie index hebben veel zwakke meteoren. De gemiddelde magnitude van zulke zwermen is hoog. Dit verband is te gebruiken om daarmee r te berekenen.

Helaas zorgen wisselende waarnemings omstandigheden en verschillen in de ervaring en conditie van de waarnemer ervoor dat niet zomaar uit de waargenomen gemiddelde magnitude r te bepalen is. We nemen daarom aan dat de gemiddelde magnitude van zwermmeteoren net zo veel omlaag gaat als de gemiddelde magnitude van sporadische meteoren, wanneer de omstandigheden slechter zijn of de waarnemer minder meteoren ziet dan de Tsjechen. De gemiddelde magnituden zoals die door de Tsjechen werden gevonden, noemen we absolute gemiddelde magnituden $\langle M \rangle$.

De Tsjechen vonden een absolute gemiddelde magnitude voor sporadische meteoren van 3.25. Er geldt dus:

$$M_z = 3.25 - m_s + m_z$$

Afgezien van storende systematische fouten, hangt de nauwkeurigheid van $\langle M \rangle$ af van de nauwkeurigheid waarmee de gemiddelde magnituden zijn bepaald. Veel meteoren levert een beter resultaat. De onzekerheid (fout) in een gemiddelde magnitude tussen 1.8 en 3.5 is (ref. 5):

$$\sigma \langle m \rangle = \frac{2.75 - 0.44 \langle m \rangle}{\sqrt{n}}$$

Hiermee is de fout in m_z en m_s te berekenen. Dan is de toevallige fout in de absolute gemiddelde zwerm magnitude:

$$\sigma \langle M_z \rangle = \sqrt{(\sigma \langle m_z \rangle)^2 + (\sigma \langle m_s \rangle)^2}$$

Nu kunnen we het verband gebruiken tussen $\langle M \rangle$ en r zoals dat uit Tsjechische waarnemingen werd berekend (ref. 4). Bij benadering geldt voor $2.6 < \langle M \rangle < 3.2$:

$$r = e^{(2.10 / (4.95 - \langle M \rangle))}$$

Bereken eerst $\langle M \rangle$ uit $\langle m \rangle$, dan volgt r uit deze formule.

Paul van der Veen (ref. 6) heeft laten zien dat ook $\langle M \rangle$ nog afhangt van de vorm van de kansfunctie. De nauwkeurigheid van het uiteindelijke resultaat is daarom slechter dan op grond van bovenstaande fouten beschouwing volgt.

3a. Verhouding sporadische en zwermmeteoren

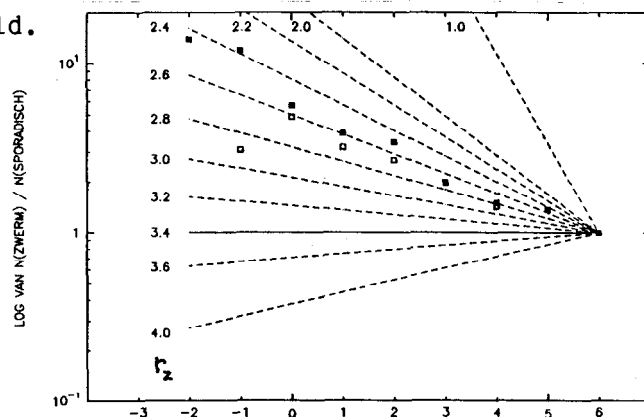
Een andere vergelijkbare methode is de magnituden distributies van zwerm- en sporadische meteoren te vergelijken. Neem aan dat de kansfunctie voor zwermmeteoren dezelfde is als voor sporadische meteoren. Dan geldt:

$$\log \left(\frac{N_z}{N_s} \right) = a + m \log \left(\frac{r_z}{r_s} \right)$$

a is een constante. Deze vergelijking heeft ook de vorm $y = a + b x$. Door

$\log \left(\frac{N_z}{N_s} \right)$ uit te zetten tegen m , volgt uit de helling de verhouding r_z/r_s . De Tsjechen vonden dat $r_s = 3.4 \pm 0.2$, waarmee r_z dan berekend kan worden. Onderstaande figuur geeft een voorbeeld.

Figuur 3-5



Massa distributie

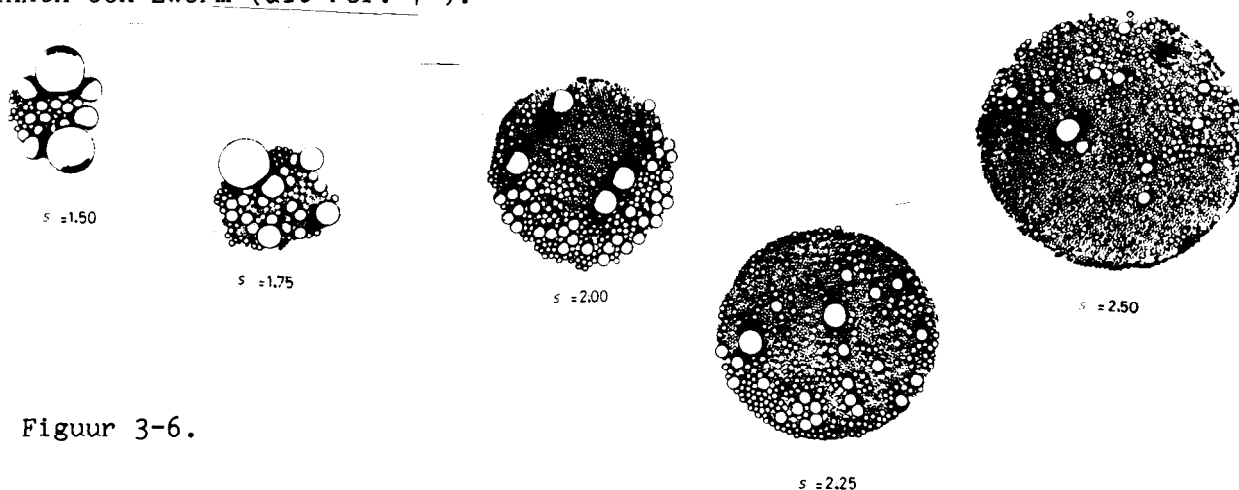
De massa (M) in de zwerm is verdeeld volgens $dN = \text{constante} \times M^{-s} dM$. Dit is de definitie van de massa distributie index (s). De geïntegreerde **massa distributie index** (S) is: $S = s + 1$ en is gedefinieerd als:

$$N(M) = \text{constante} \times M^{-S}.$$

S is direkt uit de r te berekenen wanneer men aanneemt dat de lichtkracht van een meteor (de helderheid) evenredig is met de massa. Dan is per definitie: $M \sim 2.512^m$, want zo is de magnitude gedefinieerd. Daaruit volgt dat $N(m) = \text{const.} \times 2.512^{-m \cdot S}$. r kan geschreven worden als $N(m+1)/N(m)$, waaruit direkt volgt dat:

$$S = 1 + 2.50 \log r \quad s = 2.50 \log r$$

Figuur 3-6 laat zien wat een hoge en wat een lage massa distributie index betekent voor de massa verdeling, of verdeling in formaten, van het materiaal binnen een zwerm (uit ref. 7).



Figuur 3-6.

UURTELLING: DE HOEEVEELHEID MATERIE IN DE ZWERM

De weg van uurtelling naar hoeveelheid materie in de zwerm is lang en bezaaid met veel problemen. Meestal beperken we ons tot de berekening van een Zenith Uur Frequentie (engels: **Zenith Hourly Rate, ZHR**) omdat dat al moeilijk genoeg is. Uit de ZHR kan de hoeveelheid materie in de zwerm berekend worden.

De ZHR

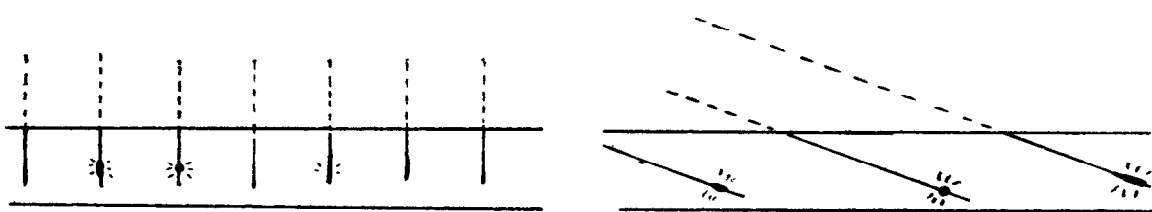
Zo'n ZHR is niet anders dan een verfraaide uurtelling. De ergste verstoringen worden uit de gewone uurtelling weggenomen. Het aantal meteoren dat per uur verschijnt, wordt vooral beïnvloed door:

1. de hoogte van de radiant boven de horizon,
2. de helderheid (doorzichtigheid) van de hemel,
3. de ervaring van de waarnemer en de kwaliteit van zijn ogen.

We bekijken deze drie invloeden nu één voor één.

1. De radianthoogte correctie

In het stuk atmosfeer dat een waarnemer kan overzien verschijnt maar een deel van alle meteoroiden die invallen op de Aarde. Dat hangt vooral af van de hoek waaronder de meteoren invallen boven de waarneemplaats, ofwel de hoogte van de radiant op het moment van de waarneming. Zie figuur 3.7.



Figuur 3-7

Staat de radiant laag boven de horizon, dan verschijnen er maar weinig meteoren in een bepaald stuk van de atmosfeer. Staat de radiant hoog aan de hemel, dan verschijnen er veel meer. Wanneer de atmosfeer vlak was, zoals in figuur 3-7 is getekend, dan zou de radianthoogte correctie worden:

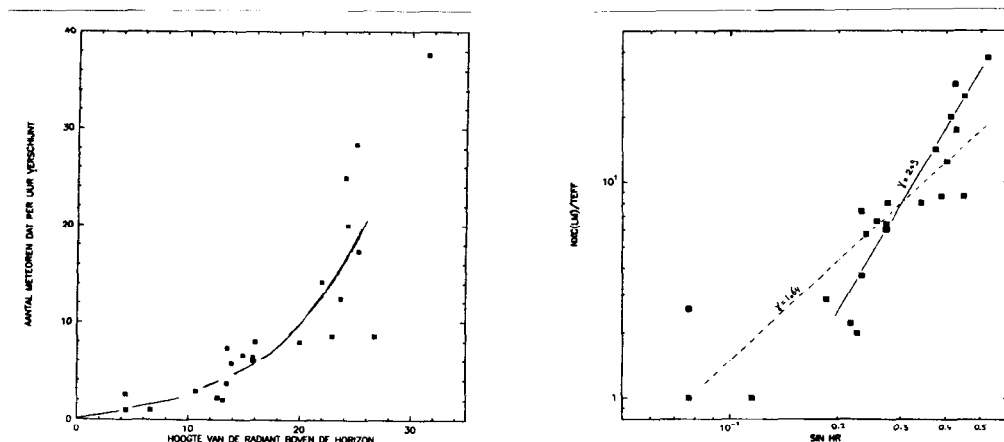
$$C_1 = \sin(h_r)^{-\gamma}$$

met $\gamma = 1.0$, en h_r de hoogte van de radiant boven de horizon. Omdat de atmosfeer net als de Aarde een bolvorm heeft en omdat de lengte en de gemiddelde helderheid van de meteoren wat anders is bij een lage radiantstand dan bij een hoge, is γ niet precies 1, maar ongeveer 1.5 (ref. 8).

Dit getal wordt gevonden uit waarnemingen. Vergelijk daartoe de waargenomen uurtelling (HR), die al wel gecorrigeerd is voor de helderheid van de hemel en de ervaring van de waarnemer maar nog niet voor de radianthoogte, met de hoogte van de radiant. Doe dit voor een periode waarin de activiteit van de zwerm (ZHR) vrijwel constant is. Er geldt dan:

$$\log HR = \log ZHR + \gamma \log (\sin h_r)$$

Zet daartoe $\log HR$ uit tegen $\log (\sin h_r)$. Trek een rechte lijn door de punten. De helling van de lijn is γ . De as afsnijding bij 0 is de logaritme van de ZHR. Als voorbeeld vinden we voor Japanse waarnemingen van de eta-Aquariden:



Figuur 3-8: Uit de figuur volgt: $\gamma = 2.2 \pm 0.7$.

In tabel 1-1 is de radiant hoogte gegeven voor verschillende zwermen op verschillende tijdstippen van de dag. Voor een ruwe schatting van de ZHR kan men deze hoogten gebruiken en daarmee de ZHR berekenen. Maar meestal wil men de hoogte exact berekenen. Hoe dat kan, daar komen we nog op terug.

2. De grensmagnitude correctie

Wie een keer bij een glasheldere lucht, hoog in de bergen bijvoorbeeld, meteoren heeft waargenomen, weet het: bij heldere hemel zie je veel meer meteoren dan in ons heilige Nederland. Het komt er ongeveer op neer dat een waarnemer bij een grensmagnitude van 5.0 maar twee meteoren in een uur ziet, terwijl men bij een grensmagnitude van 7.0 er wel 25 in een uur kan tellen.

De tweede storende factor is dus de variabele helderheid van de hemel. De ZHR is de uurtelling bij een ideale heldere hemel, en die heeft per definitie een grensmagnitude van 6.5. Dat wil zeggen dat sterren van magnitude 6.5 in het beeldveld, perifeer kijkend, nog net te zien zijn. De correctie voor de grensmagnitude is daarom 1.0 voor $L_m=6.5$. L_m staat voor "limiting magnitude" dat engels is voor "grensmagnitude".

De grensmagnitude correctie wordt snel groter naarmate de grensmagnitude afwijkt van 6.5. De correctie heeft een logaritmische vorm (ref. 3,10,11):

$$C_2 = r^{(6.5 - L_m)}$$

Het getal r bepaalt de steilheid van de correctie. Voor gemiddeld zwakke meteoren is r groot en voor gemiddeld heldere meteoren is r klein. r is 3.4 voor sporadische meteoren (ref. 4,6) en r is 2.6 voor bijvoorbeeld de perseiden. r is in het algemeen gelijk aan de magnitude distributie index.

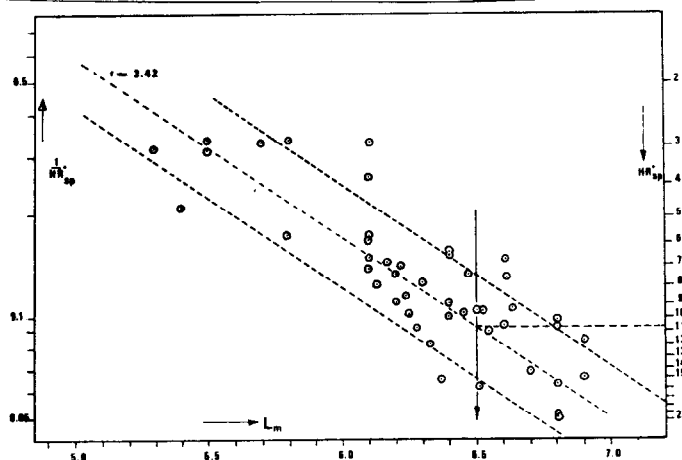
r is gelijk aan de magnitude distributie index (r), wanneer de grensmagnitude voor meteoren evenredig afneemt met de grensmagnitude voor sterren en de vorm van de kansfunctie die van een cosinus is (ref. 6).

Ook r kan gevonden worden uit de waarnemingen. Vergelijk daartoe de uurtelling (gecorrigeerd voor de radianthoogte: ZHR^*) met de helderheid van de hemel op een tijdstip dat de aktiviteit van de zwerm vrijwel constant is. Er geldt:

$$\log (ZHR^*) = \log (ZHR) - (6.5 - L_m) \log (r)$$

Zet $\log(ZHR^*)$ uit tegen $6.5-L_m$. Trek een rechte lijn door de punten. De helling geeft $-\log(r)$, waaruit r volgt. De asafsnijding bij $L_m = 6.5$ geeft $\log(ZHR)$ waaruit de goede ZHR gevonden kan worden. Als voorbeeld hieronder sporadische uurfrequenties van ervaren DMS waarnemers in 1984. De r waarde is 3.4 ± 0.7 , de HR is 10.7 ± 1.2 (ref. 10).

Figuur 3-9



r is evenredig met de gemiddelde magnitude van de zwerm onder goede omstandigheden. Als die verandert, verandert ook r . In tabel 3-2 zijn een aantal gemiddelde r waarden gegeven voor verschillende zwermen (ref. 4) en DMS resultaten tot 1987:

Zwerm:	r : DMS Tsjech.		Opmerkingen:
Bootiden	2.7	.-	Variabel tussen 2.3 en 2.8
Lyriden	2.8	3.1	
η - Aquariden	.-	2.4	
δ - Aquariden	2.7	2.8	
Capricorniden	2.1	.-	
Perseiden	2.5	2.6	Variabel tussen 2.1 en 2.7
κ -Cygniden	2.2	.-	
Orioniden	3.1	2.9	
Tauriden	2.8	.-	
Leoniden	3.0	2.6	
Geminiden	2.7	2.7	Variabel tussen 2.4 en 3.0
Ursiden	3.0	.-	

Tabel 3-2

Voor kleine zwermen kan men bijvoorbeeld $r=2.5$ nemen, welke een gemiddelde waarde is van alle zwermresultaten, of $r=3.4$ zoals voor de sporadische meteoren.

3. De persoonlijke correctie

Ervaren waarnemers en waarnemers met uitzonderlijk goede ogen zien meer meteoren dan de gewone waarnemer. De ZHR is de uurfrequentie voor een "gewone" waarnemer. Wanneer al te duidelijke verschillen optreden tussen de resultaten van verschillende waarnemers, dan wordt soms een zogenaamde persoonlijkecorrectie ingevoerd.

Een ervaren waarnemer, of een met zeer goede ogen, zal niet alleen veel zwermmeteoren zien, maar ook veel sporadische meteoren. De persoonlijke correctie zou bijvoorbeeld kunnen zijn:

$$C_3 = \frac{\langle HR \rangle}{HR_{\text{standaard}}}$$

waarbij $\langle HR \rangle$ de waargenomen gemiddelde sporadische uurfrequentie is over een groot aantal nachten:

$$HR = \frac{n_s}{T_{\text{eff}}} \times 3.4^{(6.5 - L_m)}$$

en $HR_{\text{standaard}}$ de sporadische uurfrequentie van een standaard waarnemer.

$HR_{\text{standaard}}$ kan bijvoorbeeld gelijk gesteld worden aan 10.0. Maar vanzelfsprekend varieert de sporadische uurfrequentie over de nacht en over het jaar. Daarmee kan rekening worden gehouden door een wat andere standaard HR te kiezen. Het is zinloos om elke nacht een andere persoonlijke correctie te berekenen. De onzekerheid in de sporadische HR en de standaard HR zijn daarvoor te groot. Het is alleen zinvol om een gemiddelde persoonlijke correctie voor veel nachten te berekenen en die verder voor alle nachten te gebruiken. Wanneer men maar weinig waarnemingen van een waarnemer heeft, wordt meestal aangenomen dat de waarnemer "gewoon" is: $C_3 = 1$.

De berekening van de ZHR

De ZHR is:

$$\text{ZHR} = \frac{n_z}{T_{\text{eff}}} \times C_1 \times C_2 \times C_3$$

met C_1 , C_2 en C_3 de drie correcties op de uurfrequentie n_z/T_{eff} die hiervoor besproken werden:

$$C_1 = (\sin(h_r))^{-\gamma}$$

$$C_2 = r^{(6.5 - L_m)}$$

$$C_3 = \text{de persoonlijke correctie factor}$$

De onzekerheid (fout) in de ZHR is:

$$\sigma(\text{ZHR}) = \frac{\text{ZHR}}{\sqrt{n_z}}$$

De sporadische uurfrequentie is:

$$\text{HR} = \frac{n_s}{T_{\text{eff}}} \times 3.4^{(6.5 - L_m)} \times C_3$$

De onzekerheid in de sporadische uurfrequentie is:

$$\sigma(\text{HR}) = \frac{\text{HR}}{\sqrt{n_s}}$$

Een ruwe schatting van de ZHR

Hier volgt een voorbeeld om aan te geven hoe op een gemakkelijke manier een ruwe schatting van de ZHR kan worden berekend.

Voorbeeld:

Op 10 augustus ziet iemand 15 perseïden en 7 sporadische meteoren in 1.8 uur effectieve waarneemtijd. Het midden van de waarneemperiode was om 23 uur UT. De grensmagnitude was 5.7.

We hebben dus:

1. Aantal zwermmeteoren: n_z 15
2. aantal sporadische: n_s 7
3. Effectieve tijd: T_{eff} 1.8 uur
4. Grensmagnitude: L_m 5.7
5. Hoogte van de radiant: h_r 39 graden (uit tabel 1-1, kolom 6 en regel 7)
- 6 r-waarde: r 2.5 (uit tabel 3-1, voor perseiden)

Invullen geeft voor de sporadische uurfrequentie:

$$HR = 7/1.8 \times 3.4^{(6.5-5.7)} = 10 \pm 4.$$

Dit is geen onredelijke waarde. Daarom en omdat we verder weinig van de waarnemer weten, mogen we stellen dat we hier met een "normale" waarnemer te doen hebben, met een persoonlijke correctie $C_3 = 1$.

We vinden bij invullen van de vergelijkingen hierboven:

$$C_1 = 2.5^{(6.5-5.7)} = 2.08$$

$$C_2 = (\sin(39))^{-1.47} = 1.98$$

$$C_3 = 1$$

$$\text{Daaruit volgt: } ZHR = 34 \pm 9.$$

Het berekenen van de radianthoogte

Voor een meer preciese ZHR berekening is het nodig de radianthoogte nauwkeuriger te kennen. De radiant positie verandert met de tijd en de hemel verschuift elke dag ongeveer 1 graad.

De radiant hoogte hangt af van:

1. de datum
2. de plaats op Aarde (OL, ϕ)
3. het tijdstip van de waarneming (TM)
4. de radiant positie (RA, DEC)

Eerst berekenen we voor de bewuste datum de plaats van het lentepunt (radiant positie 0) op een plek op Aarde met positie 0, Greenwich bij Londen, om 0h UT. Dat geeft de Greenwich Sterre Tijd (GST).

Maak van de datum een Juliaanse Datum. Dit is een doorlopende dagtelling.

$$JD = 2447160.5 + \text{aantal dagen sinds } 0.0 \text{ jan. } 1988 + \text{fractie van de dag sinds } 0^h \text{ UT.}$$

Voorbeeld: * 10 augustus is 223 dagen na 0.0 januari:

$$10 + 31 + 30 + 31 + 30 + 31 + 29 (!) + 31 = 223$$

$$* TM = 23 \text{ h UT, dus de fractie van de dag sinds } 0^h \text{ UT} = 23/24.$$

Daaruit volgt $JD = 2447384.4580$.

Bereken de tijd in dagen die verlopen zijn sinds 2000.0 (Jan 1^d 12^h UT):

$$T = (JD - 2451545.0)/36525$$

Het laatste getal is het aantal dagen (gemiddeld) in een jaar, het eerste is de Juliaanse Datum van 1 januari 2000 om 12h UT.

Voorbeeld: $T = -0.1139094$

Bereken nu de Greenwich Sterrentijd (GST) in graden:

$$GST = 100.46 + 36000.77005 \times T - (\text{jaren tot } 2000) \times 360$$

Die laatste term zorgt ervoor dat GST tussen 0 en 360 graden komt.

Voorbeeld: $GST = 319.633$ graden.

De Astronomische Almanak voor 1988 geeft: $GST = 319.635$ graden

Bereken nu de lokale sterretijd (LST) voor het tijdstip van de waarneming door rekening te houden met de plaats van de waarnemer op Aarde en de tijd van de waarneming:

$$\text{LST} = \text{GST} + \text{TM} \times 1.00274 + \text{OL} + (\text{jaar}-1950.0) \times 0.01396$$

Voorbeeld: Voor een waarnemer in Nederland:

$$\text{OL} = 6 \text{ graden}$$

$$\phi = 52 \text{ graden,}$$

$$\text{met GST} = 319.63 \text{ graden}$$

$$\text{en TM} = (23 \times 360/24) \text{ graden,}$$

$$\text{volgt LST} = 312.1 \text{ graden.}$$

Breng ook de LST tussen 0 en 360 graden!

Nu volgt de hoogte van de radiant uit de positie van de radiant aan de hemel (RA, DEC), de helling van de hemel (ϕ) en de positie van de hemel (LST):

$$\sin(h_r) = \sin(\phi) \sin(\text{DEC}) + \cos(\phi) \cos(\text{DEC}) \cos(\text{LST} - \text{RA})$$

Invullen geeft met RA = 43.3 en DEC = 57.5 voor de positie van de Perseiden radiant op 10 augustus:

$h_r = 41.1$ graden, 2.1 graden hoger dan de waarde in Tabel 1.1. Met deze waarde voor de radianthoogte wordt de ZHR in ons voorbeeld 32 ± 8 . Nauwelijks verschillend! Pas bij lage radiant hoogten ($h_r < 30^\circ$) wordt een nauwkeurige hoogte berekening belangrijk.

Er hoeft niet voor zenit attractie gecorrigeerd te worden. Deze correctie is verwerkt in de exponent γ .

De massa influx

Uit de magnituden distributie index en de berekende ZHR is tenslotte de massa influx van de zwerm te berekenen. De berekening omvat 4 stappen:

1. Bereken uit de gevonden ZHR en r de ware magnituden distributie $n(m)$ van meteoren die per uur in het gezichtsveld van een waarnemer verschijnen.
2. Bereken het effectief waargenomen oppervlak.
3. Bereken de massa van een meteor van magnitude m .
4. Bereken de massa influx.

1. De ware magnituden distributie

De ware verdeling van stofjes over alle magnituden tot 6 wordt gegeven door:

$$n(m) = n(0) r^m$$

$n(0)$ is het aantal meteoren van magnitude 0 dat per uur in het gezichtsveld van één waarnemer verschijnt. $n(0)$ moet berekend worden uit de ZHR. r kan bepaald worden uit de waargenomen magnituden distributie met behulp van een kansfunctie $P(m)$ (zie vorige paragraaf).

Het totaal aantal meteoren dat per uur wordt waargenomen, is $N(6) + N(5) + N(4) + N(3) + N(2) + N(1) + N(0) + N(-1) + \dots = \sum_m N(m)$. Na correctie voor de waarnemings omstandigheden is dit hetzelfde als de ZHR:

$$ZHR = \sum_m N(m) = n(0) + \sum_m P(m) r^m$$

Hieruit is $n(0)$ te berekenen.

Voor de Perseïden tijdens hun maximum bijvoorbeeld, vinden we uit DMS waarnemingen $r=2.5$ en een ZHR van 80. In tabel 3-1 is $P(m)$ gegeven. Met $r=2.5$ volgt dat: $\sum_m P(m) r^m = (P(6) \times 2.5^6) + (P(5) \times 2.5^5) + (P(4) \times 2.5^4) + \dots = 11.0$. Dan is $n(0) = ZHR / \sum_m P(m) r^m = 80/11.0 = 7.3$, zodat de ware magnituden distributie $n(m)$ is:

$$n(m) = 7.3 \times 2.5^m$$

$n(0)$ moet nog gecorrigeerd worden voor het feit dat de meteoren bij lage hoogten, verder van de waarnemer vandaan zijn. Die grotere afstand samen met de grotere atmosferische extinctie daardoor, zorgen ervoor dat die meteoren zwakker lijken dan ze zijn. We voeren daarvoor een statistische correctie in, die alleen opgaat voor grote aantallen.

Het effectief waargenomen oppervlak van de hemelbol is ongeveer een gebied met een straal van 45 graden verticaal en ongeveer 70 graden horizontaal. In het algemeen is de kijkhoogte tussen 50 en 90 graden. We gaan ervan uit dat de ZHR (vrijwel) onafhankelijk is van de kijkhoogte en bovendien niet afhangt van de hoek tussen kijkrichting en radiant. De eerste aanname gaat ongeveer op. De aantallen op lage hoogte zijn minder door extinctie en de veel grotere afstand tot de waarnemer, maar het volume atmosfeer dat wordt waargenomen is daar veel groter (ref. 9). De tweede aanname gaat vrijwel zeker niet op en kan een factor 2 uitmaken voor grote hoeken. Daarom geldt het advies om bij meteorwaarnemen op minder dan 90 graden van de radiant vandaan te kijken.

Voor een meteor op hoogte h boven de horizon is de correctie voor extinctie en (vooral) afstand (Δm):

$$\sin h = \frac{H}{2R} \left(\frac{2R}{H} + 1 - 10^{0.4\Delta m} \right) \times 10^{-0.2\Delta m}$$

Met $H=95$ km en $R=6366$ km volgt dat voor hoogten van 54, 32 en 21 graden, de correcties respectievelijk 0.5, 1.5 en 2.5 magnituden bedraagt. We gaan er nu vanuit dat meteoren die op hoogten 54-90 graden verschijnen géén correctie behoeven. Meteoren die tussen 32 en 54 graden verschijnen, moeten 1 magnitudo gecorrigeerd worden, en meteoren tussen 21 en 32 graden 2 magnituden.

Wanneer een gevonden magnitudo distributie niet verschilt van de distributie die door een waarnemer is gevonden die naar het zenit keek, kunnen we de volgende correctie aannemen. Het effectieve waarneemveld voor een zenit-kijker is gemiddeld tot zo'n 30 graden hoogte. Wanneer de meteoren gelijkmatig verdeeld over dit gebied verschijnen, is zo'n 40% van de meteoren boven een hoogte van 54 graden en behoeft derhalve géén correctie, terwijl 60% in het gebied tussen 30 en 54 graden is verschenen, waarvoor een correctie van 1 magnitudo geldt. De meteoren van magnitudo 1 in dit gebied zijn dus in werkelijkheid van magnitudo 0. Het werkelijke aantal meteoren van magnitudo 0

in het gezichtsveld wordt $n(0) = 0.4 \times n(0) + 0.6 \times n(1)$. Omdat $n(1) = n(0) \times r$ is dit $n(0) = n(0) (0.4 + 0.6r)$. Hiermee wordt uiteindelijk het werkelijke aantal meteoren van magnitude 0 dat per uur voor één waarnemer verschijnt:

$$n(0) = \frac{ZHR \times (0.4 + 0.6r)}{\sum_m P(m) r^m}$$

Voorbeeld: Voor het maximum van de Perseïden was $r=2.5$, zodat de correctie gelijk is aan $0.4 + 0.6 \times 2.5 = 1.9$. $n(0)$ wordt daarmee $1.9 \times 7.3 = 13.8$. Hiermee wordt de ware magnituden distributie:

$$n(m) = 13.8 \times 2.5^m$$

2. Het effectief waargenomen oppervlak

We beschouwen een gebied rond het zenit met een diameter van $z = 60$ graden, het effectief waargenomen oppervlak (S_E):

$$S_E = \pi \sin^2 z ((R + H)^2 - R^2 \sin^2 z)^{0.5} - R \cos z)^2$$

Met $R=6.38 \times 10^6$ m en $H = 1.00 \times 10^5$ m volgt $S_E = 3.82 \times 10^{10}$ m². Voor de hele Aarde geldt een veel groter trefvlak (S_A):

$$S_A = k \pi (R + H)^2 \quad \text{met:} \quad k = 1 + g_H \frac{R + H}{V_G^2}$$

Getallen voor H , V_G , g_H , k en S_A voor een aantal grote zwermen staan in tabel 3-3. De invloed van de snelheid van de meteor is klein zolang $V_G > 30$ km/s.

Zwerm:	V_G ($\times 10^3$ m/s)	H ($\times 10^3$ m)	g_H ($\times 10^6$ m/s ²)	k	S_A ($\times 10^{14}$ m ²)
δ -Aquariden	35	95	9.52	1.05	1.38
Geminiden	36	95	9.52	1.05	1.38
Bootiden	43	96	9.51	1.03	1.35
Lyriden	49	97	9.51	1.03	1.35
Perseïden	60	99	9.50	1.02	1.34
Orioniden	68	106	9.48	1.01	1.33

Tabel 3-3

Vermenigvuldig nu het aantal meteoren met de verhouding van oppervlakken S_A/S_E om het totaal aantal meteoren te krijgen dat in de Aardatmosfeer per uur oplicht.

Voorbeeld:

Perseïden hebben $V_\infty = 60$, zodat $S_A = 1.34 \times 10^8 \text{ km}^2$. De gemiddelde hoogte is 99 km, zodat geldt $S = 8.84 \times 10^4 \text{ km}$ (voor $z=60$ graden). $S_A/S_E = 1.52 \times 10^3$. Het totale aantal Perseïden dat op Aarde verschijnt per uur tijdens de maximum nacht is:

$$n(m) = 2.11 \times 10^4 \times 2.5^m$$

3. De massa van een meteor

Uit honderden meteoren gefotografeerd in de USA in de jaren vijftig met Super-Schmidt en kleinere cameras, vond men het volgende verband tussen de massa van een meteor (M) en de visuele magnitude (m), de snelheid voor intrede van de dampkring (V_∞) en de zenitsafstand van de radiant (ref. 13):

$$\log M(m) = 2.98 - 0.44 m - 3.89 \log V_\infty - 0.67 \log (\sin h_r)$$

V_∞ is in km/s, M in kg. V_∞ kan berekend worden uit V_G in tabel 3-3 m.b.v.:

$$V_\infty = V_G + (11.2)^2$$

of kan gevonden worden in de zwermoverzichten (Hoofdstuk 4). Voor elke magnitude, dus ook voor $m=0$, is nu een massa te berekenen.

De massa distributie $N(M)$, waarbij M nu staat voor massa, is als volgt te berekenen. We vonden dat voor vaste h_r en V_∞ , dus in het geval van een zwerm:

$$M(m) = M(0) 10^{-0.44 m}$$

Wanneer de lichtkracht recht evenredig is met de massa van de meteor, dan zou gelden: $M(m) = M(0) 10^{-0.4m}$. Dit gaat bij benadering op. Het getal 0.44 is mogelijk niet significant verschillend van 0.4 (ref. 13).

4. De massa influx

De totale massa die per uur op Aarde neerkomt is:

$$M = \frac{S_A}{S_E} \sum_m M(m) \times n(m)$$

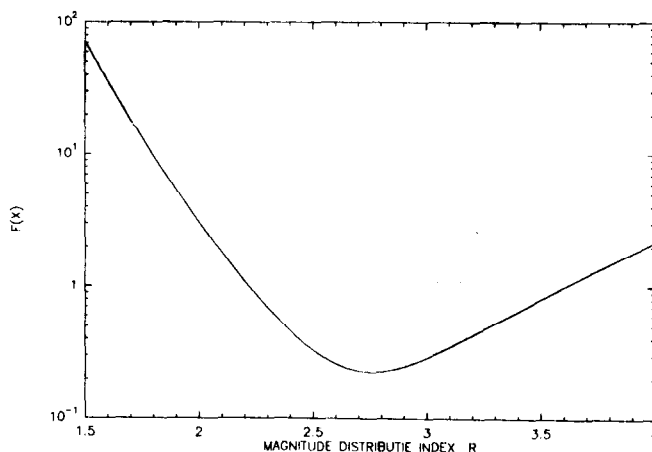
Omdat M en n continu variëren als functie van m is deze vergelijking ook in de vorm van een integraal te schrijven. Met bovenstaande vergelijking voor de massa distributie als functie van m en met de aantallen distributie $n(m) = n(0) \times r^m$ wordt dit:

$$M = \frac{S_A}{S_E} M(0) n(0) \int_m (0.363 r)^m dm$$

Omdat $0.363 \times r$ meestal van de orde 1 is, moet er een onder- en een bovenlimiet gekozen worden waarover de massa opgeteld wordt. Kiezen we bijvoorbeeld het "visuele" gebied tussen 6.5 (de standaard grensmagnitude) en -12 (de helderheid van de volle maan), dan wordt bovenstaande integraal:

$$M = \frac{S_A}{S_E} M(0) n(0) \left[\frac{(0.363 r)^{7.5}}{7.5} - \frac{(0.363 r)^{-11}}{-11} \right]$$

De onderstaande figuur laat het verloop zien van het laatste deel van deze formule als functie van r .



Figuur 3-10

Wanneer $r < 2.78$ is de onderlimiet voor m belangrijk. Het betekent in praktijk dat er nog veel massa in de heldere meteoren zit. Wanneer $r \gg 2.78$ zit is de massa in de heldere meteoren verwaarloosbaar. Voor oude zwermen, waar de grote

deeltjes door botsingen met ander interplanetair materiaal langzaam uit elkaar vallen, zal r daarom groter zijn dan 2.8. Voor sporadische meteorieten blijkt r ongeveer 3.4 te zijn.

In principe mag alleen opgeteld worden over dat interval waarvoor r bekend is! Dat is in praktijk meestal maar zo tussen 0 en +5, of zelfs maar tussen +2 en +4.

De totale massa aan zwerm materiaal dat per seconde per vierkante meter op Aarde invalt (de **massa-influx**), is nu:

$$\dot{M} = \frac{M}{S_A \times 3600} \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

Hiermee is een ZHR om te rekenen tot een massa influx en in plaats van een ZHR kromme kan een massa-influx kromme berekend worden.

Voorbeeld:

- * Voor de Perseiden tijdens hun maximum is $r=2.5$.
- * De ZHR tijdens het maximum is 80.
- * De (gemiddelde) radiant hoogte is zo'n 40 graden
- * V_∞ is 60 km/s.

- * De uurfrequentie van magnitude 0 meteorieten is $n(0) = 13.8$.
- * De massa van een perseïde van magnitude 0 is 1.38×10^{-4} kg (0.138 gram).
- * Met $S_E = 3.82 \times 10^{10} \text{ m}^2$ en $S_A = 1.34 \times 10^{14} \text{ m}^2$ volgt dat tijdens het Perseiden maximum een hoeveelheid massa op Aarde valt van: $M = 2.2 \text{ kg/uur}$ door meteorieten van -12 tot +6.5.
- * De massa influx is daarmee: $\dot{M} = 4.6 \times 10^{-18} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

NALICHTENDE SPOREN

Nalichtende sporen vertellen ons (misschien) iets over de eigenschappen van het meteoroiden stof en het proces van verdampen bij de botsing met de Aarde.

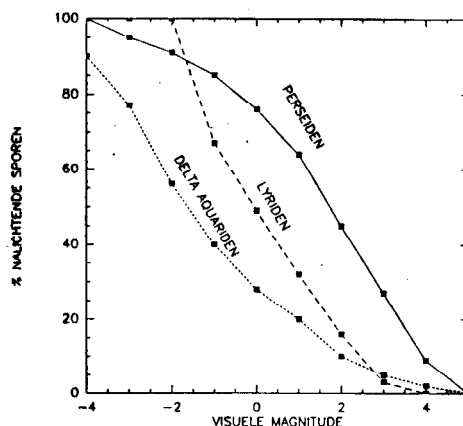
Nalichtende sporen distributie

Een zeker percentage van de meteoren laat een nalichtend spoor achter. Vooral de snelle meteoren (Perseïden, Orioniden, Leoniden) geven veel nalichtende sporen. Dit percentage blijkt afhankelijk van de waarnemings omstandigheden en de oplettendheid van de waarnemer en heeft daarom maar een beperkte waarde. Bij een lichte of heilige hemel is het spoor snel te zwak om nog te kunnen zien. Met een verrekijker zijn sporen vaak veel langer te zien.

Veel interessanter is, dat blijkt dat dit percentage afhangt van de magnitude van de meteor. Het verband tussen de magnitude en het percentage nalichtende sporen wordt waarschijnlijk minder door de waarnemings omstandigheden beïnvloed. Een compleet overzicht van nalichtende sporen moet er daarom bijvoorbeeld als volgt uit zien (ref. 14):

Smoke trains for Perseids 1986 (FG, KG, LTH, TEH, TH, TVL, TL, & KS)													
	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	Tot
Mag. dist	3	12	41	98	249	323	358	545	590	534	212	11	2978
# w/Trains	3	10	37	86	205	219	184	122	25	5	1	0	897
% w/Trains	100	63.3	90.2	87.8	82.3	67.8	51.4	22.4	4.2	0.8	0.5	0	30.14
Duration (s)													
≥ 8	1	1	1										3
8	1	1.5	1.5	0.5									4.5
4	0.5	2	11	7.5	8	5	0.5						32
2		3.5	16.5	49	67.5	37	16.5	2		0.5			192.5
1	1	1	0	23.5	83.5	93	96	33	8	0.5			313.5
1/2				2.5	6	9	11	3		0.5			32
1/4		1	1	3	41	75	90	84	19	2.5	1		317.5
1/8					1					1			2
Mean dur (s)	5.0	3.4	2.7	1.8	1.3	1.1	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6		1.18

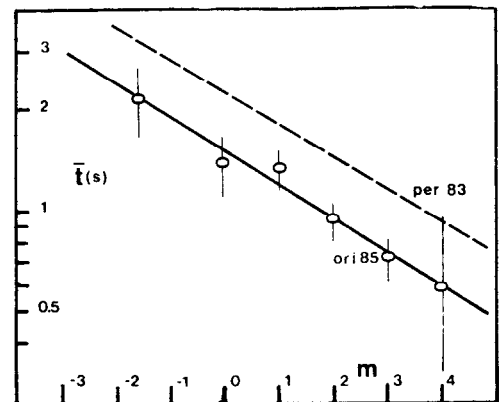
Het hiermee bepaalde percentage nalichtende sporen als functie van de magnitude ziet er voor enkele zwermen als volgt uit (DMS data):



Figuur 3-11

De duur van nalichtende sporen

De gemiddelde duur van een nalichtend spoor ($\langle t \rangle$) hangt af van de waarnemingsomstandigheden. Opnieuw verwachten we dat het variëren van de duur als functie van magnitude minder afhankelijk zal zijn van de omstandigheden. Dit verband blijkt exponentieel te zijn zoals is te zien in figuur 3-12. Zet $10 \log \langle t \rangle$ uit tegen m , dan ontstaat een rechte lijn.



Figuur 3-12

Voor weinig zwermen werden tot dusver voldoende data verzameld om dit soort figuren te kunnen maken. Vooral van zwermen met weinig nalichtende sporen (trage meteoren) is nagenoeg niets bekend.

REFERENTIES

1. Astronomical Almanac (1986), tabel C18.
2. P. Duffet-Smith; "Practical Astronomy with your calculator" 2nd ed. (1981) 82
3. Van der Veen P.; Radiant 6 (1984) 75
4. Kresáková M.; Contr. Astr. Obs. Skalnaté Pleso 3 (1966) 75
5. Van der Veen P.; Radiant 8 (1986) 41
6. Van der Veen P.; Radiant 8 (1986) 1
7. Hughes D.W.; Cosmic Dust, J.A.M. McDonnell (ed.), J. Wiley and Sons (1978) Hfd. 3
8. Zvelánková J.; Contr. Astr. Obs. Skalnaté Pleso 12 (1984) 45
9. Jenniskens P., Witte F.; Radiant 7 (1985) 44
10. Jenniskens P.; Radiant 6 (1984) 117
11. Wood J.; Radiant 8 (1986) 60
12. Jenniskens P., Nobel W.; Radiant 8 (1986) 6
13. Jacchia L.G., Verniani F., Briggs R.E.; Smits. Contr. to Astroph. 10 (1967) 1, p 25
14. Hillestad T.E.; "Report Norwegian Astron. Soc." (1986)

HOOFDSTUK 4

EEN ZWERM CATALOGUS

Er bestaan radiant catalogi met duizenden radiantposities die gevonden zijn uit ingetekende meteorsporen, met radar, telescopisch, uit fotografische lijsten en radiantten van eenmalige sterrenregens. Deze lijsten zijn nuttig om na te gaan welke zwermen zoal aktief kunnen zijn op een bepaalde nacht. Zij geven echter geen informatie over welke zwermen het actiefste zijn, hoe de meteoren van die zwermen eruit zien, waar de radiant van die actieve zwermen op de dagen voor en na het maximum te vinden zijn. Die informatie is wel opgenomen in de in dit hoofdstuk opgenomen zwermcatalogus van alle goed herkenbare zwermen. Alleen die zwermen zijn genoemd, die tussen 1981 en 1987 door waarnemers van DMS, van NAPO-MS (Australië) en AKM (DDR) redelijk konden worden waargenomen. Hun resultaten vormen de basis voor de opgesomde eigenschappen van de zwerm:

1. de geschiedenis ontdekking, historische sterrenregens, de komeet die de zwerm veroorzaakt
2. de verschijning radiantpositie, snelheid, kleur, nalichtende sporen, gemiddelde helderheid
3. de activiteit ZHR grafiek
4. de evolutie computer simulaties, toekomst en verleden van de zwerm

Alle ZHR gegevens zijn berekend met $\gamma=1$. Radiantposities uit fotografische meteoren zijn gecorrigeerd voor zenit-attractie, andere posities niet. Alle baanelementen, hemelcoördinaten en zonslengten zijn gegeven voor equinox 1950.0, mits anders aangegeven. De percentages voor kleuren van meteoren gelden voor alle meteoren helderder of gelijk aan +2.

Elke zwerm begint met haar naam en een indicatie voor de datum van het maximum. Rechtsboven aan de bladzijde staat dan een symbool "★" wanneer de zwerm in het recente verleden af en toe sterrenregens heeft veroorzaakt of dat in principe kan doen (zoals de Perseïden). Een halve cirkel geeft aan dat de zwerm een **zuidelijke zwerm** is die vanuit Australië te zien is, maar niet vanuit Nederland () of juist een **noordelijke zwerm** die vanuit Nederland maar niet vanuit Australië is te zien ().



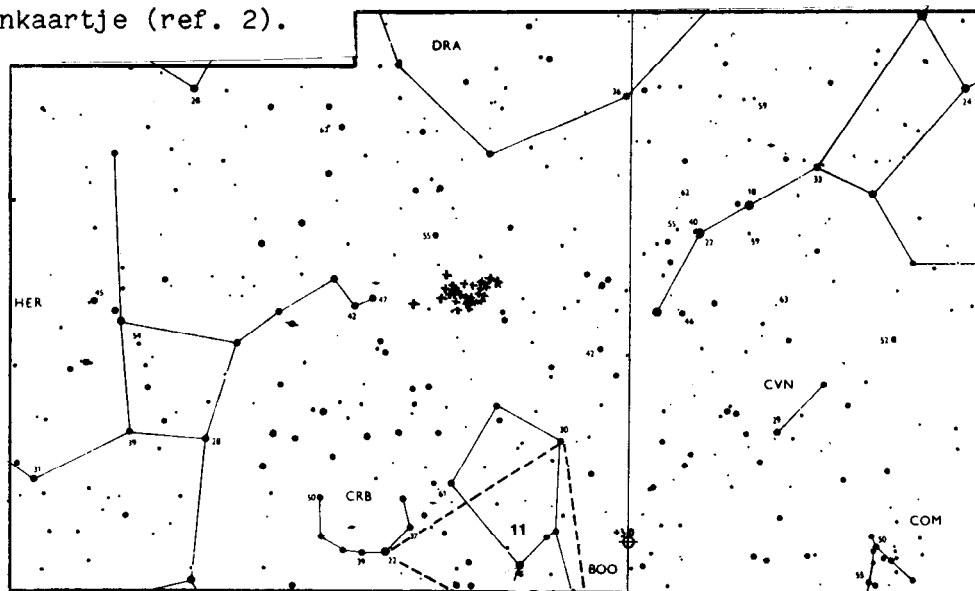
Geschiedenis

In 773 en 1637 al zijn er sterrenregens waargenomen in de eerste weken van januari. Misschien waren dat Boötiden. Of Quadrantiden, zoals de zwerm ook wel genoemd wordt, naar een verdwenen sterrenbeeld "Quadrans Muralis", het Muurquadrant, dat in de eerste helft van de 19e eeuw op sterrenkaarten voorkwam. Op 1 januari 1835 werd de zwerm ontdekt. A. Quetelet uit Ukkel in België (1839), Herrick (1840) en Wartmann (1841) publiceerden onafhankelijk van elkaar de eerste waarnemingen van deze zwerm (ref. 1). Sindsdien wordt hij regelmatig waargenomen.

Verschijsning

Boötiden zijn medium snel ($V_{\infty} = 43.1$ km/s). Bij een lage radiant stand, voor en rond middernacht, komen de meteoren scherend de dampkring binnen. Heldere meteoren trekken dan lange banen, lijken traag en zien er uit als balletjes met een staart. In de vroege ochtend wanneer de radiant boven 25 graden hoogte komt, zijn de meteoren minder opvallend maar wel veel talrijker. De heldere meteoren vertonen soms flares. Slechts 3% van de Boötiden laat een nalichtend spoor na, dat in het algemeen maar kort duurt (ref. 3).

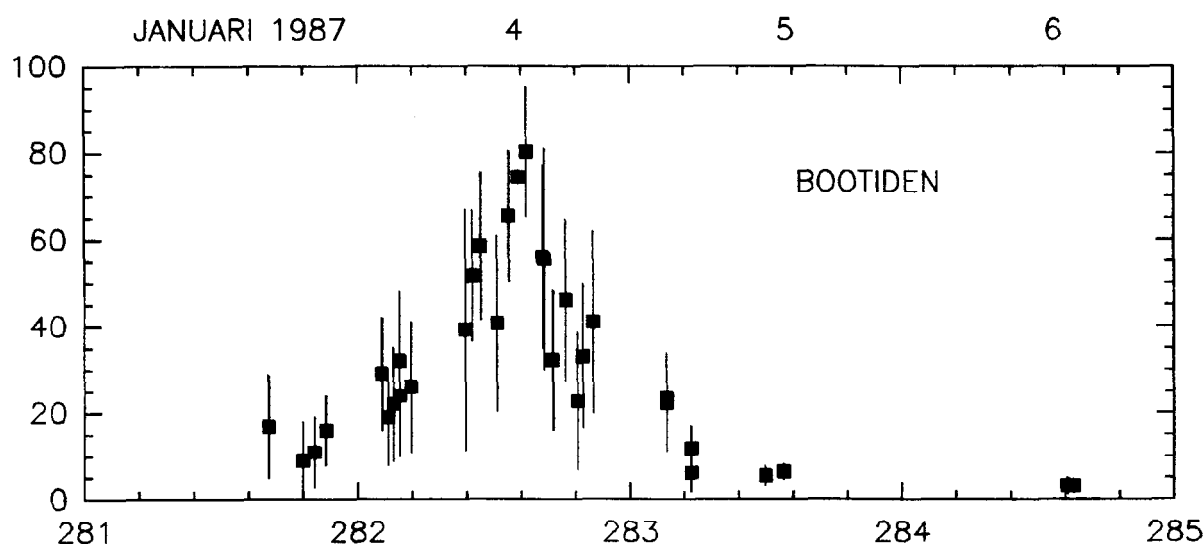
De radiant ligt tussen de staart van de Grote Beer en de "kop" van de Ossenhoeder (Boötes). In de figuur beneden zijn een aantal radiant posities van in Japan gefotografeerde Boötiden ingetekend op een Tsjechisch sterrenkaartje (ref. 2).



Aktiviteit

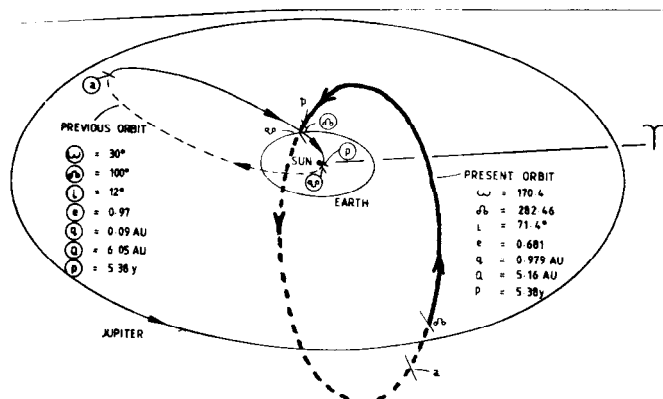
De zwerm heeft een scherp maximum en is maar zeven uur aktiever dan de helft van haar maximale aktiviteit bij zonslengte 282.64 ± 0.04 (voor 1986, ref. 3). Dit maximum valt altijd in de nacht van 3/4 januari. Bij gunstige omstandigheden zijn er dan 80-100 meteoren per uur te zien (ref. 4). Maar dat is zelden het geval. Het maximum moet daarvoor in de vroege ochtend vallen, wanneer de radiant hoog genoeg staat. Er mag geen storend maanlicht zijn en geen bewolking. In de eerste week van januari zijn er in Nederland vaak vliegende stormen met grote wolkenvelden. Tussen die wolkenvelden kan het echter fantastisch helder zijn en soms loont het de moeite om een paar uurtjes wakker te blijven.

In de vroege ochtenduren vanaf 28 december zijn er al enkele Bootiden te zien. De aktiviteit neemt heel langzaam toe tot 2/3 januari. In deze nacht is de ZHR 10-20. De daaropvolgende nacht laat meestal een sterk verloop in aktiviteit zien. Na het maximum neemt de aktiviteit snel af. Zo snel zelfs, dat wanneer het maximum vroeg in de nacht valt, er later die nacht nog maar 10-30 meteoren per uur te zien zijn. Tot hoelang er na het maximum nog Bootiden te zien zijn, is niet hemelmaal duidelijk. In ieder geval tot 6 januari. De aantallen per uur zijn dan erg klein. Onderstaande figuur toont de ZHR curve zoals die tot dusver uit DMS waarnemingen tussen 1984 en 1987 kon worden bepaald, aangevuld met enkele waarnemingen uit de DDR bij zonslengten tussen 281.8-282.2.



Evolutie van de zwerm

De baan van de Boëtiden strekt zich uit tot juist bij de baan van Jupiter. De onderstaande figuur is uit ref. 8.



Deze zware planeet zorgt voor een aantal opmerkelijke verschijnselen. Jupiter is verantwoordelijk voor een snelle verschuiving van het tijdstip van het maximum, een opsplitsing van grote ("visual") en kleine ("radio") deeltjes en de relatieve uitgestrektheid van de radiant.

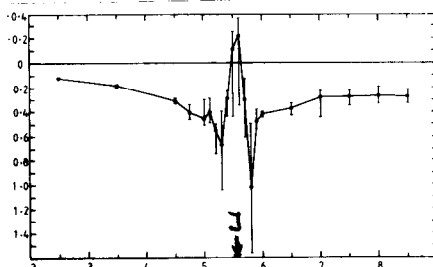
Het tijdstip van het Boëtiden maximum valt in de loop van de tijd steeds vroeger. Dat gaat in een opmerkelijk hoog tempo. Per eeuw valt het tijdstip 0.4 graden vroeger (ref. 5). Dat is bijna een halve dag.

Het aandeel van zwakke meteoren is veel groter in de aanloop van de zwerm, dan tijdens het maximum. In de nacht van 2/3 januari is de gemiddelde magnitude veel lager dan in de nacht van het maximum (ref. 3). Met de Sheffield radar werd gevonden dat het tijdstip voor het maximum van heldere meteoren verschilt van dat voor zwakke meteoren (ref. 6). In zonslengte uitgedrukt (met m de magnitude van de meteoren):

$$\Omega (1950.0) = 283.24 (\pm 0.04) - 0.109 (\pm 0.01) m$$

Beide effecten hangen met elkaar samen. Computer simulaties hebben laten zien dat Jupiter de baan van een Boëtide stoort en wel sterker naarmate de meteoroïde dichterbij de planeetbaan kan komen. De verandering van de baan zorgt voor een verschuiving van het punt waar de baan de Aardbaan het dichtste nadert. De volgende figuur (uit ref. 5) laat zien hoe snel dat gaat voor meteoroïden met verschillende aphelium afstanden en die dus op verschillende

verschuiving van de
dalende knoop
(graden per eeuw)



aphelium afstand (verste afstand tot de zon)

afstanden de baan van Jupiter naderen. Het verschil in het tijdstip voor het maximum van de zwakke meteoren ten opzichte dat van de heldere meteoren, kan ontstaan wanneer de lichte deeltjes (zwakke meteoren) gemiddeld verder of juist minder ver van Jupiter blijven in hun aphelium. Daarvoor is een splitsing in banen nodig die kan ontstaan door het Poynting-Robertson effect, door de stralingsdruk van de zon op net uitgestoten deeltjes en door de spreiding in de oorspronkelijke uitstoot snelheid.

De verstoring door Jupiter gaat met een periode van 59 jaar, waarschijnlijk een resonantie effect. Op lange termijn kan Jupiter de baan van de Boëtiden grondig verstoren. Men ontdekte (ref. 8) dat 1500 jaar geleden de helling met het vlak van de Aardbaan veel kleiner was: maar 12 graden. De baan zag er toen uit als in figuur 4-2 gegeven. Nog verder terug in de tijd, 2300 jaar geleden, was de inclinatie net als vandaag zo'n 76 graden. Tussen 150 en 100 jaar voor Christus waren de deeltjes zover uit elkaar gerukt, dat een waarnemer op Aarde de zwerm waarschijnlijk niet herkend zou hebben! Gelukkig zitten ze tegenwoordig weer vrij dicht bij elkaar. Waarschijnlijk blijft dat de komende 400 jaar nog wel zo.

Referenties

1. Lovell A.C.B.; "Meteor Astronomy" (Oxford, 1958)
2. Ochiai T.; WGN 13 (1985) 88
3. Veltman R.; Radiant 9 (1987) 18
4. Jenniskens P.; Radiant 7 (1985) 118
5. Hughes D.W., Williams I.P., Fox K.; M.N.R.A.S. 195 (1981) 625
6. Hughes D.W., Taylor I.W.; M.N.R.A.S. 181 (1977) 517
7. Hughes D.W., Williams I.P., Murray C.D.; M.N.R.A.S. 189 (1979) 493
8. Williams I.P., Murray C.D., Hughes D.W.; M.N.R.A.S. 189 (1979) 483



Geschiedenis

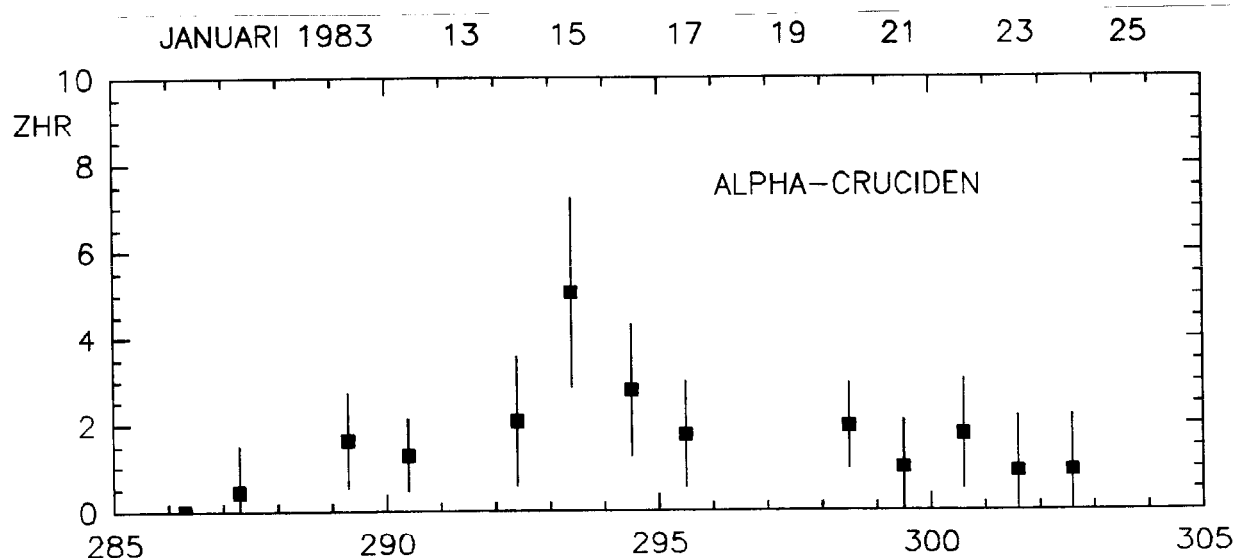
Hoffmeister (ref. 1) vond in de nacht van 11/12 januari in 1938 een onbeduidend radiantje bij RA=175, DEC=-57 graden. Hij verbleef toen in Zuid-West Afrika. Later is de zwerm opgenomen in Wood's lijst van Zuidelijke Zwermen als van klasse "B", minder duidelijk dan veel andere zwermen (ref. 2). In 1983 werd de zwerm door NAPO-MS waarnemers goed waargenomen (ref. 3). De resultaten hieronder zijn van deze actie.

Verschijsning

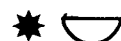
De meteoren komen van RA=181, DEC=-63 bij Alpha Crux, de helderste ster van het Zuiderkruis. De in 1983 waargenomen Alpha Cruciden, hadden een gemiddelde magnitude van 2.74. 19% van de meteoren had een nalichtend spoor. Alle sporen zijn van korte duur, de langste duurde 4-5 seconden.

Aktiviteit

Alpha Cruciden zijn actief tussen 9 en 24 januari. Op 15 januari is een maximum van zo'n 5 meteoren per uur.



1. Hoffmeister C.; Meteörstrome (1948, J.A. Barth/Verlag/Leipzig) blz. 231
2. Wood J.; "A list of Southern Hemisphere Meteor Streams"
3. Wood J.; NAPO-MS bulletin (WGN 12 (1984) 7)



Geschiedenis

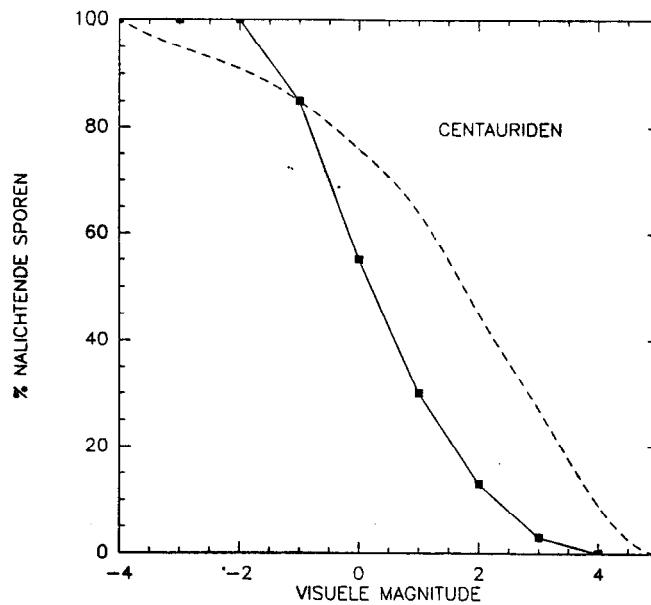
Deze zwerm is in het verleden al waargenomen door o.a. Hoffmeister. De zwerm heeft in de jaren '70 en in 1980 verhoogde activiteit laten zien. Er is geen komeet bekend die deze zwerm veroorzaakt kan hebben. In 1980 zijn tijdens het maximum 169 Alpha Centauriden opgetekend. De maximale ZHR was toen 28 ± 5 per uur. De vele heldere gele meteoren trokken in dat jaar de aandacht van het publiek. Politie, weerstations, radio en tv ontvingen vele rapporten waaraan ook de volgende dag nog uitgebreid aandacht werd besteed (ref 1). Het gebeurde voor West-Australische waarnemers vroeg in de avond. De aantallen namen meteen na het begin van officiële waarnemingen af.

Verschijsning

De meteoren komen van een radiant bij $RA = 209 \pm 2$, $DEC = -58 \pm 3$ in het sterrenbeeld Centaur. De radiant verschuift met $\Delta RA = 1.18 \pm 0.17$ en $\Delta DEC = 0.26 \pm 0.14$ graden per dag (ref 1). Tijdens de (kleine) sterrenregen in 1980 waren de meteoren gemiddeld erg helder: 1.63 mag. Dat kwam misschien omdat de radiant toen erg laag aan de horizon stond. In 1983 en 1986 werden meer normale gemiddelde magnitude gevonden: 2.56 en 2.08 respectievelijk. De magnituden distributie voor alle zwermmeteoren zag er in de afgelopen jaren als volgt uit:

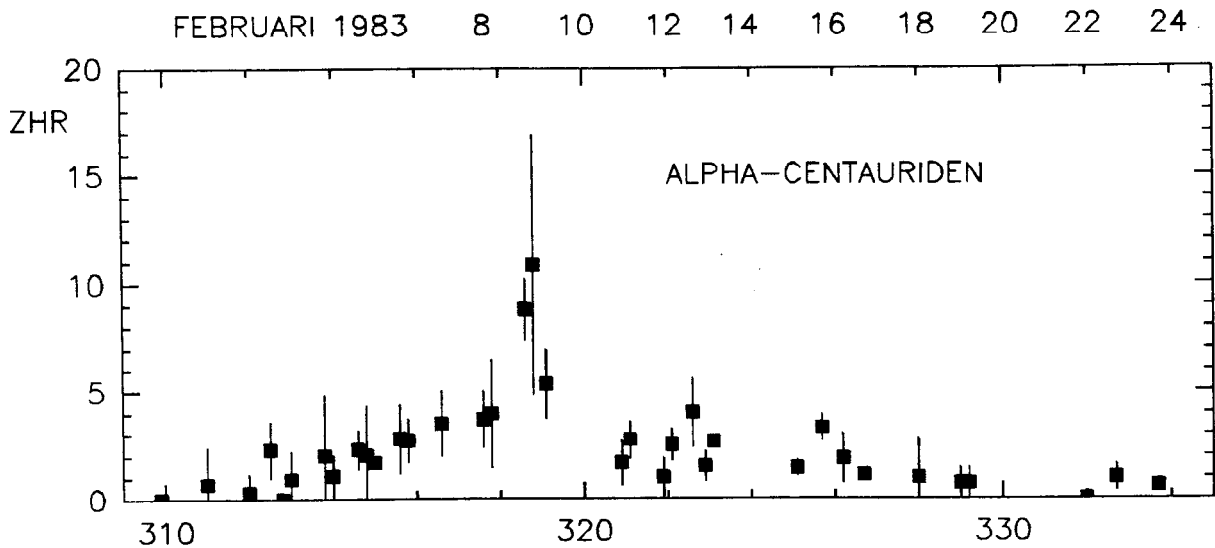
m_v :	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	<m>	%trains
1980	1	1	1	4	7	12	21	29	64	22	19	13	4	1.63	27 ± 5
1983	0	0	2	0	0	1	4	8	18	19	15	8	0	2.56	12 ± 4
1986	0	1	0	4	2	4	10	19	26	32	20	8	0	2.08	25 ± 5

De meteoren zijn medium snel ($V \sim 50$ km/s). 1/3 van de meteoren is geel of oranje van kleur en zo'n 25% van de Alpha Centauriden (ref. 2,3) laat een nalichtende sporen na. Sommige sporen duren tamelijk lang. Eén -4 meteor (1983) had een nalichtend spoor van 23 seconden. Onderstaande figuur geeft het percentage Centauriden met nalichtende sporen per magnitude (ref. 1).



Aktiviteit

De zwerm is actief van 2 tot 25 februari met een maximum op 9 februari. De ZHR is dan ongeveer 10. Zowel de stijgende als dalende tak van de ZHR curve is goed waargenomen door de NAPO waarnemers. De onderstaande figuur toont de ZHR curve die kon worden samengesteld uit ZHR berekeningen door Jeff Wood van waarnemingen uit 1980, 1983 en 1986.



Referenties

1. Wood J., WAMS bulletin (Radiant 2 (1980) 135)
2. Wood J., NAPO-MS bulletin (WGN 12 (1984) 7)
3. Wood J., NAPO-MS bulletin 142 (1986)



Geschiedenis

Tijdens de vroegste meteor waarnemingen in de 19e eeuw zijn al tientallen radianten opgetekend in de sterrenbeelden Leeuw en Maagd in de periode Februari - Mei (ref. 1). Geen van deze zwermen heeft een sterk gepiekte activiteit. Het zijn eclipticale zwermen. De banen van de meteoroiden liggen ruwweg in het vlak van de planeten. Uit fotografische opnamen werden een aantal subzwermen geklassificeerd.

DELTA LEONIDEN (februari)

Eén van de zwermen die uit fotografische opnamen werd terug gevonden, zijn de δ -Leoniden. 24 meteoren van een collectie van 2401 meteoren waren van deze zwerm (ref. 2). De δ -Leoniden zijn actief van 5 februari tot 19 maart met een radiant bij RA=159, DEC = +19 graden. Hun gemiddelde snelheid is 26.3 km/s.

Recent is een astroïde ontdekt, met de voorlopige aanduiding 1987 SY, die door Olsson-Steel (ref. 3) in verband wordt gebracht met deze zwerm. De astroïde werd ontdekt door Eugene en Carolyn Shoemaker met behulp van de 46 cm Schmidt telescoop van Mount Palomar. De voorlopige baanelementen wijzen op een dichtste nadering van de Aardbaan van 0.026 AE. De meteoren die afkomstig zijn van deze planetoïde, zouden moeten komen van RA=156 en DEC = +20 graden, met een maximum op 18 februari en een snelheid van 24.3 km/s.

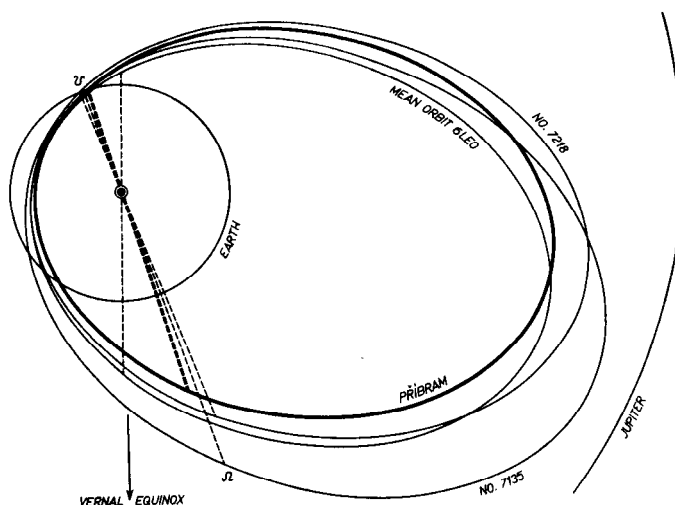
De kortperiodieke komeet Helfenzrieder 1766 II (ref. 4) geeft echter ook een redelijke overeenstemming: RA=160, DEC=+16 en V_{∞} = 30.5 km/s met een maximum op 18 februari (ref. 3 na herberekening; Olsson-Steel, privé correspondentie). Drummond (ref. 5) vindt voor deze komeet een theoretische radiant bij RA= 159, DEC=+14, V_{∞} = 30 km/s. De Aarde passeert op 16 februari de komeetbaan op 0.131 AE, een vrij grote afstand. Opmerkelijk is dat deze komeet maar één maal is waargenomen.

THETA VIRGINIDEN (maart-april)

Lindblad (ref. 2) noemt in zijn lijst van fotografische zwermen de "Zuidelijke Virginiden". In Amerika waren 4 meteoren met ongeveer dezelfde baan gefotografeerd tussen 12 tot 27 maart. De radiant ligt gemiddeld bij RA=185, DEC=-2 en de meteoren hebben een langzame snelheid van $V_{\infty} = 30$ km/s .

Eind maart komen meteoren met iets lagere snelheid ($V_{\infty} = 26$ km/s) uit dit gebied. Deze tweede zwerm, de θ -Virginiden, actief van 21 maart tot 13 mei, werd door Southworth en Hawkins terug gevonden in lijsten van fotografische simultaan opnamen. Zij noemden de zwerm onterecht de σ -Leoniden: de radiant ligt midden in het sterrenbeeld de Maagd! Van 2401 gefotografeerde meteoren, waren er 17 van deze zwerm (ref. 2). McIntosh verzamelde radiantbepalingen voor zuidelijke zwermen en vond dat een 7 tal radianten konden behoren bij één zwerm. Hij noemde deze zwerm de " χ - Virginiden" (ref. 6). Hij vond dat de radiant beweegt van RA=186, DEC=-8 op 9 april tot RA=195, DEC=-7 op 19 april. Deze zwerm werd ook door Hoffmeister gezien (ref. 7) en door hem de "Virginiden" genoemd. Hij vond een maximum

De χ -Virginiden, ofwel de σ -Leoniden, zijn in verband gebracht met de meteoriet van Pribram (ref. 8). De figuur toont de baanelementen van de Ksi-Virginiden en de baan van Pribram geprojecteerd op het vlak van de planeten.



Er is ook een komeet die met deze zwerm geassocieerd kan worden. Komeet Gambart 1834 heeft een theoretische radiant bij RA=185, DEC=-12 (ref. 5). De

meteoren van deze komeet hebben een snelheid van V_{∞} 32 km/s. De Aarde passeert de komeetbaan op 0.06 AE op 31 maart. De komeet is maar matig waargenomen en misschien lang-periodiek. De baanelementen zijn slecht bekend.

ALPHA VIRGINIDEN (begin april)

Hoffmeister vond een radiant bij RA=208, DEC=-14.5 die zorgde voor een opvallende piek in de Virginiden activiteit in de tweede week van april. De meeste radiantposities die McIntosh verzamelde, sloegen op deze zwerm. Hij noemde de zwerm de Alpha-Virginiden. Gemiddeld werd tussen 4 en 30 april de radiant positie bevonden bij RA=208½, DEC = -10. In de lijsten van gefotografeerde meteoren is deze zwerm terug gevonden. De zwerm wordt door Lindblad de noordelijke λ Virginiden genoemd (ref. 9). Er zijn maar twee foto's bekend die gemaakt zijn op 4 en 15 april. De radiant van deze meteoren is bij RA=210, DEC = -10 en de meteoren hebben een medium snelheid van 34 km/s.

MU VIRGINIDEN (april - mei)

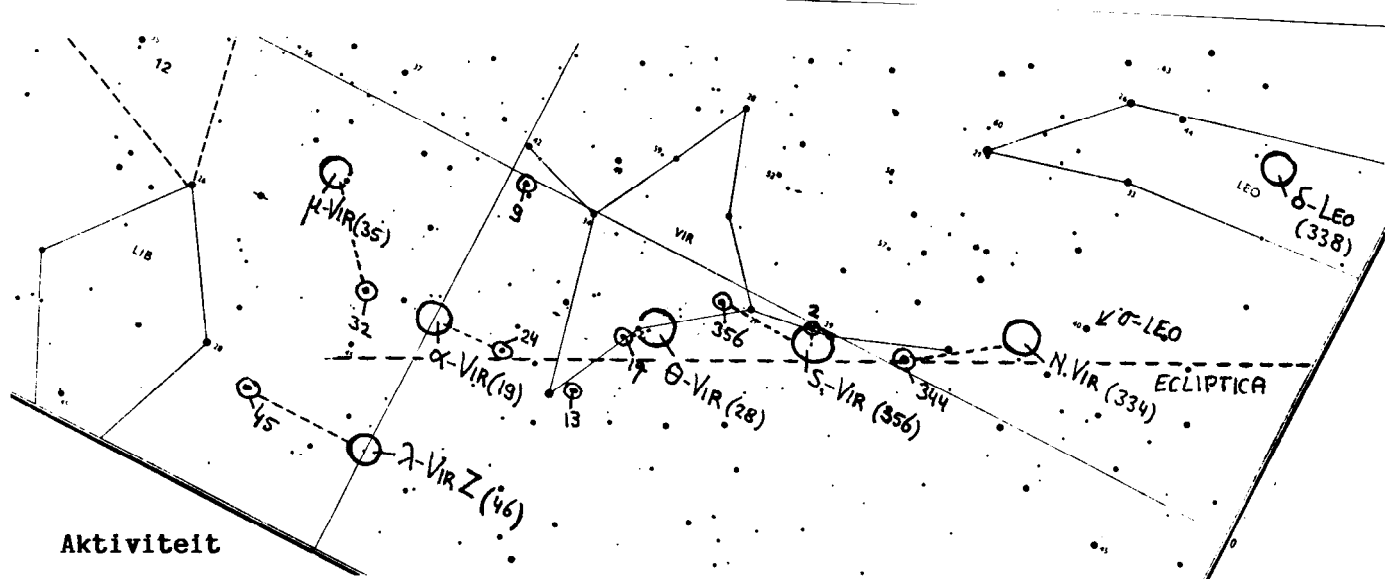
Naast de eerder genoemde Virginiden zijn er de μ -Virginiden, actief van 1 april tot 12 mei met een "maximum" op 25 april. De meteoren komen van RA=221, DEC = -5 en hebben een snelheid van 29 km/s. 7 meteoren zijn in ref. 2 geïdentificeerd als afkomstig van deze zwerm. McIntosh vond een radiant bij RA=225, DEC = -3 die actief zou zijn van 9-26 april. Hij noemde de zwerm de "Libriden". Lindblad vond ook twee meteoren op 5 en 6 mei die kwamen van RA=210, DEC = -10 met een snelheid van V_{∞} = 27 km/s. Hij noemde deze meteoren zuidelijke λ -Virginiden.

Verschijsning

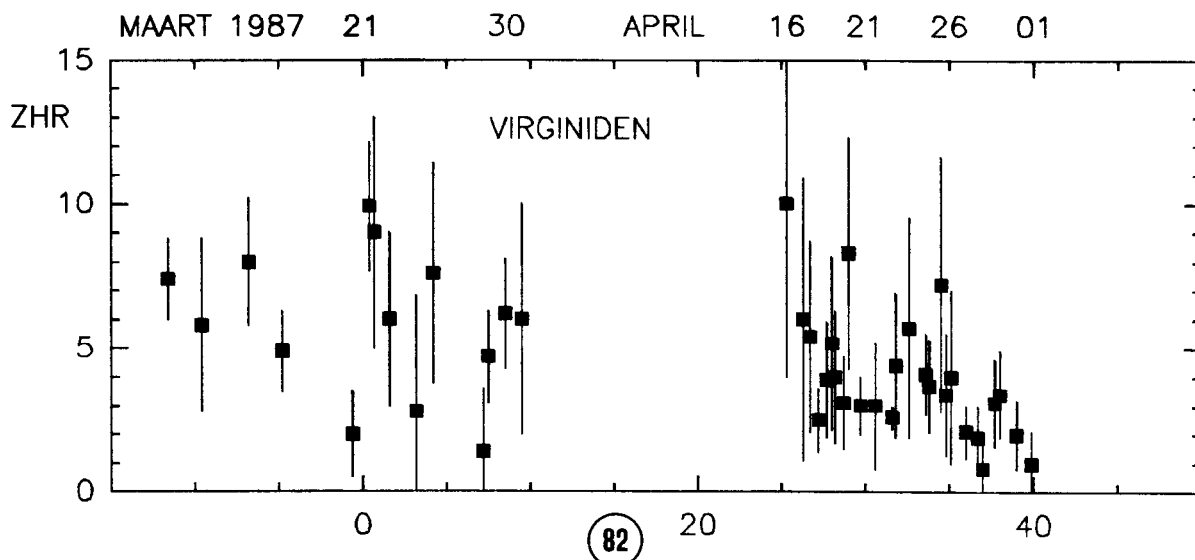
Opvallend aan eclipticale zwermen is hun lage snelheid. De meeste meteoren zijn medium of traag en komen uit het zuiden. Kenmerkend is het lage percentage nalichtende sporen. Hoffmeister zag maar 4% van de Virginiden een nalichtend spoor achter laten (blz 147, ref 10). Bij de huidige slechtere waarnemings omstandigheden, zal dit percentage zelfs lager liggen. De gemiddelde helderheid van de Virginiden is laag. In de DDR vond men een r waarde van 3.04 ± 0.33 (ref 11). Voor 93 Virginiden waargenomen bij

grensmagnituden tussen 6.1 en 6.6, vond men een magnitude distributie $N(0) = 2\frac{1}{2}$, $N(1) = 3\frac{1}{2}$, $N(2) = 6$, $N(3) = 13\frac{1}{2}$, $N(4) = 28$, $N(5) = 24$, $N(6) = 9\frac{1}{2}$.

Volgens Hoffmeister (ref. 10) is de Virginiden radiant vrij diffuus en komen de meteoren uit een gebied met een diameter van zo'n 30 graden. Af en toe is er een wat beter bepaalde radiant, die meestal maar van korte duur is. Nevenstaande Tsjechische kaart geeft de positie van een aantal Virginiden radianten van Hoffmeister, en uit fotografische lijsten gevonden zwermen.



Volgens Hoffmeister had de zwerm een flauw maximum bij zonslengte 20-25. Dit is in de tweede week van april. De DDR waarnemingen (ref 12-15) die verwerkt zijn in onderstaande ZHR kromme, lijken wel een aflopende activiteit te hebben na 20 april, maar waarnemingen tijdens het door Hoffmeister vastgestelde maximum ontbreken. Gedurende begin maart en half april is de Virginiden ZHR ongeveer 5.



Wanneer na de tweede week van april de Virginiden aktiviteit verdwijnt, komen zo'n 20-30 graden verder de eerste radianten tot leven van het Scorpius-Sagittarius complex. Een andere eclipticale "zwerm".

Referenties

1. Denning W.F.; "General Catalogue of the Radiant Points of Meteoric Showers" Mem. of the R.A.S. 53 (1899) 203
2. Lindblad B.A.; Smiths. Contr. to Astroph. 12 (1971) 14
3. Olsson-Steel D.; WGN 15 (1987) 179
4. Olsson-Steel D.; Australian Journal of Astronomy 2 (1987) 21
5. Drummond J.D.; ICARUS 47 (1981) 500
6. McIntosh R.A.; M.N.R.A.S. 95 (1935) 709
7. Hoffmeister C.; "Meteorströme" (1948, Leipzig, Verlag Johan Barth)
8. Kresák L., B.A.C. 14 (1963) 49
9. Lindblad B.A.; Smiths. Contr. to Astroph. 12 (1971) 1
10. Hoffmeister C.; Meteorströme (1948, J.A. Barth/Verlag/Leipzig)
11. Arlt R.; MM nr. 82 (1987) 4
12. Rendtel J.; MM nr. 41 (1984) 1
13. Rendtel J.; MM nr. 42 (1984) 1
14. Rendtel J.; MM nr. 54 (1985) 1
15. Rendtel J.; MM nr. 80 (1987) 1
16. Rendtel J.; MM nr. 71 (1986) 2
17. Cook A.F.; "A working list of meteor streams" in Evolutionary and Physical Properties of Meteoroids NASA SP-319, Washington D.C. (1973) 183



Geschiedenis

In 1928 zag McIntosh, afkomstig uit Nieuw Zeeland, voor het eerst deze zwerm. Later heeft hij in een door hem samengestelde lijst naar het schijnt een schrijffout gemaakt te hebben (ref. 1). Hij gaf toen de radiant positie op als bewegend van RA = 272, DEC = -40 naar RA = 283½, DEC = -38 (ref. 2). Hij noemde de zwerm incorrect de "Corona Australiden". Sindsdien is de zwerm ook onder deze naam bekend.

Twee objecten zijn misschien verantwoordelijk voor deze zwerm. Komeet P/1893 IV Brooks heeft een theoretische radiant bij RA=269, DEC=-54 ($V_{\infty} = 70$ km/s). De Aarde passeert op 15 maart de komeetbaan op een afstand van 0.18 AE. Anderzijds heeft een anonieme komeet die van juli tot september in het jaar 1683 verscheen, een theoretische radiant bij RA=210, DEC=-48 ($V_{\infty} = 54$ km/s). De Aarde passeert deze komeetbaan op 18 maart op slechts 0.06 AE (ref. 5).

Verschijsning

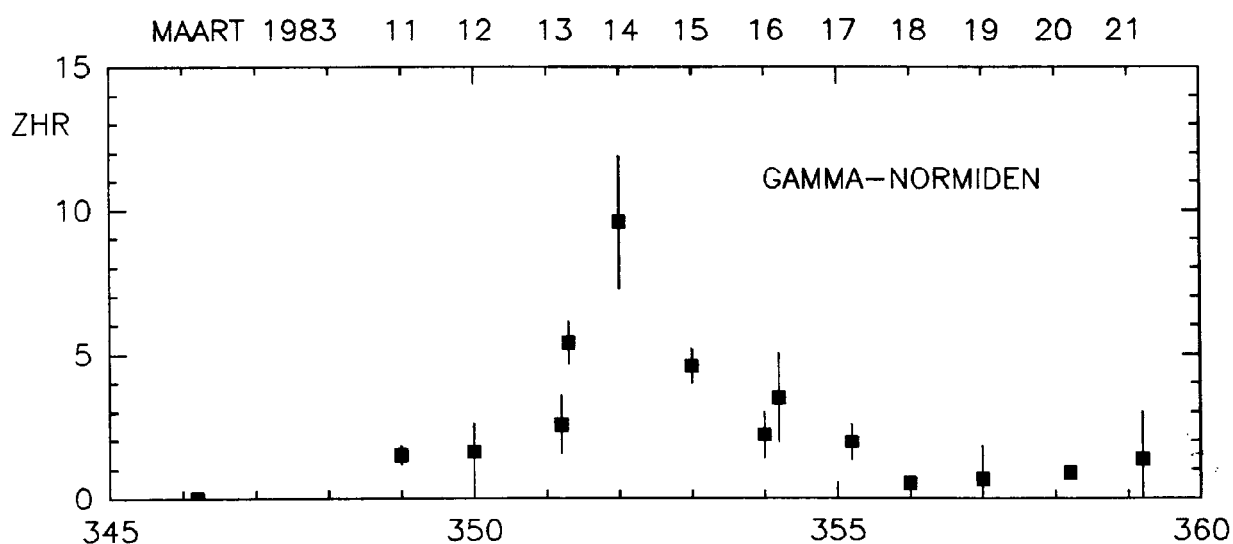
De meteoren komen van RA=245, DEC=-48 en hebben een snelheid van $V_{\infty} = 64$ km/s (ref. 6). De zwerm is het beste waar te nemen tussen breedtegraden -40 en -60, niet boven +30, dus vanaf ons land niet waarneembaar. 30-50% van de meteoren helderder dan +2 is geel of oranje van kleur (ref. 3,4). 20 ± 3 % van de meteoren gezien in 1986 lieten een nalichtend spoor achter. De magnitude distributie zag er als volgt uit:

m_v :	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	<m>	%trains
1982	0	0	0	1	2	2	4	4	3	0	0	2.06	25 ± 12
1983	2	0	0	1	2	8	12	13	18	7	0	2.68	10 ± 4
1986	2	2	5	11	16	30	56	73	59	17	2	2.41	20 ± 3

In 1983 waren de waarnemings omstandigheden waarschijnlijk iets beter. Uit de magnituden distributie van 1986 berekende Jeff Wood met behulp van de standaard kansfunctie een r waarde van 2.29 (ref. 4).

Aktiviteit

De zwerm is in ieder geval actief tussen 10 en 17 maart en mogelijk tussen 8 en 22 Maart (ref. 4). McIntosh (ref. 2) vond nog radiant bepaling van deze zwerm op 28 maart. Het maximum valt op 14 maart en de ZHR is dan 10 ± 3 . Het is niet zeker dat het werkelijke maximum al is waargenomen door het NAPO-MS team. Onderstaande ZHR curve werd verkregen uit berekeningen door Jeff Wood van NAPO-MS waarnemingen uit 1982, 1983 en 1986.



Referenties

1. Wood J.; NAPO-MS Bulletin 179 (1982)
2. McIntosh R.; M.N.R.A.S. 95 (1935) 709
3. Wood J.; NAPO-MS Bulletin (WGN 12 (1984) 8)
4. Wood J.; NAPO-MS Bulletin 152 (WGN 15 (1987) 130)
5. Drummond J.D.; ICARUS 47 (1981) 500
6. Kresak L.; B.A.C. 15 (1964) 53



Geschiedenis

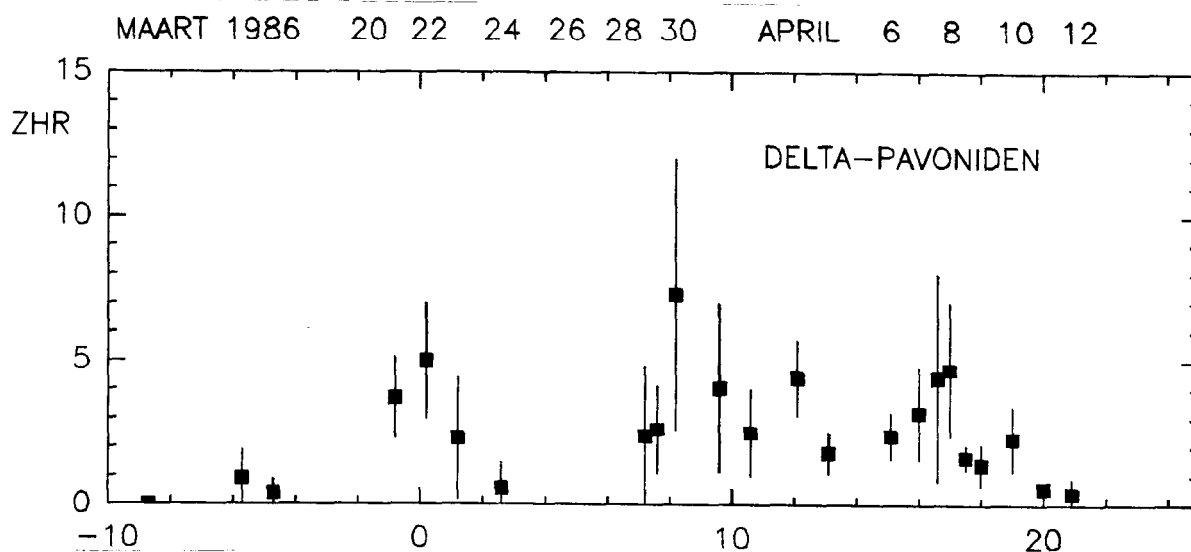
In 1972 werd deze zwerm ontdekt door Australische waarnemers. Het was een onbeduidend zwermpje met een radiant die bepaald werd bij β -Pavonis in het sterrenbeeld de Pauw. In 1978 werd de zwerm nader bestudeerd en toen bleek dat de meteoren afkomstig kunnen zijn van komeet P/Grigg-Mellish 1907 II (ref. 1).

Verschijsning

De theoretische radiant van P/Grigg-Mellish ligt bij RA=309, DEC=-60 (ref. 2). De meteoren zijn snel ($V_{\infty} = 60$ km/s) en gemiddeld vrij zwak, $\langle m \rangle = 3.12$, $r = 2.61$ (ref. 1). Slechts $12.9 \pm 1.3\%$ van de meteoren laat een nalichtend spoor na (Perseiden: 30%!).

Aktiviteit

Onderstaande figuur toont de ZHR curve afgeleid uit NAPO-MS waarnemingen. De zwerm lijkt 3 maal een piek in de aktiviteit te hebben. De hoofdpijk met een maximale ZHR van zo'n 7, valt op 30 maart. De Aarde passeert de komeetbaan op 30 maart bij $\lambda_0 = 9.5$ op slechts 0.004 AE. Ook zijn er pieken op 22 maart (8 dagen vóór de hoofdpijk, ZHR = 5) en op 8 april (8 dagen ná de hoofdpijk, ZHR = 5). Een dergelijk ZHR profiel is van geen van de andere zwermen bekend. Een betere bepaling van het profiel is wenselijk. De zwerm is waarschijnlijk oud.



1. Wood J.; NAPO-MS Bulletin (WGN 15 (1987) 131)
2. Drummond J.D.; ICARUS 47 (1981) 500
3. Wood J.; NAPO-MS Bulletin

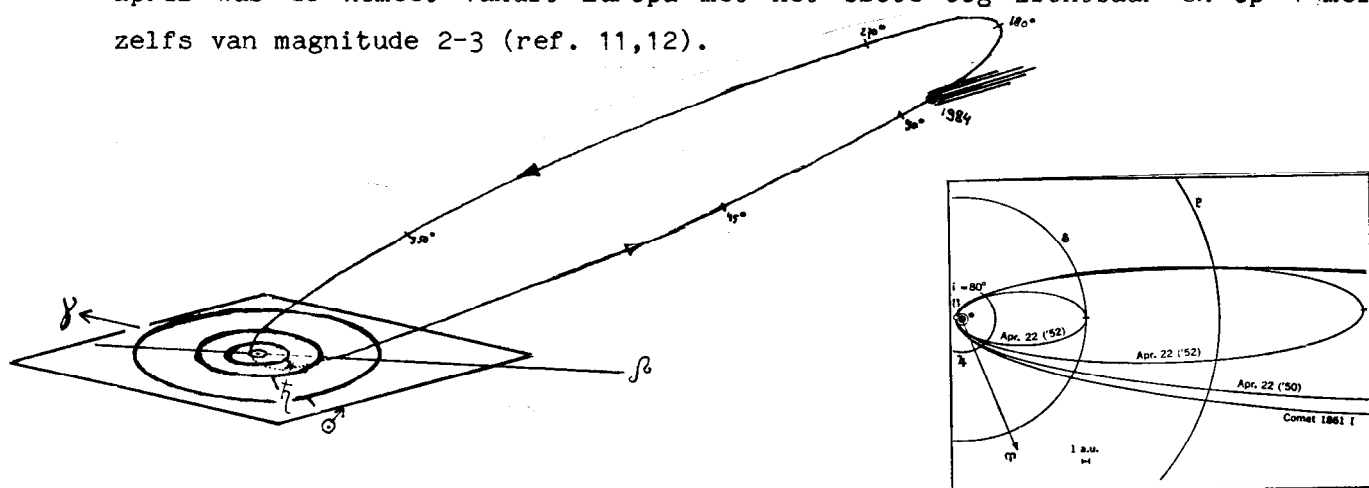


Geschiedenis Aan het einde van de jaren '30 in de vorige eeuw, toen het systematisch waarnemen van meteoren begon, werd voor het eerst een kleine zwerm opgemerkt met een radiant in het sterrenbeeld de Lier en actief rond 21 april. Lang voor die tijd zijn er sterrenregens waargenomen. De regen van 16 maart 687 voor Christus is de oudste vermelding in Chinese bronnen die aan één van de ons bekende zwermen kan worden toegeschreven. In het midden van de nacht van 16 maart (zonslengte 30.9) "vielen er sterren als regen". Dit waren Lyriden. Toch zijn verder weinig regens van deze zwerm bekend. Op 25 maart in 15 voor Chr. (31.2) vielen opnieuw "sterren als regen, 1 of 2 zhang (10-20 graden - ref. 1) in lengte, voortdurend, en doofden uit voor ze de grond bereikten" (ref. 3). Een Koreaans geschrift vermeldt dat op 3 april 1136 (31.3) "vele sterren vlogen van noord-oost naar zuid-west.

In recente jaren zijn de vermeldingen van sterrenregens talrijk. Op 19.6 april 1803 zagen mensen in het oosten van de V.S. een regen van meteoren. "...van 1 tot ongeveer 3 uur in de ochtend. De meteoren leken aan elk punt van de hemel naar beneden te vallen, in zulke grote aantallen dat het geheel een regen van vuurpijlen leek. Verschillende van de verschieterende meteoren werden vergezeld van een spoor van vuur, dat de hemel tot op flinke afstand verlichtte." Eén waarnemer rapporteerde dat hij 167 meteoren in 15 minuten tijd had gezien en ze waarschijnlijk niet allemaal had kunnen tellen. Herrick vond een uurfrequentie van 668 (ref. 4). In 1863 werd door Engelse waarnemers een vlaag Lyriden gezien. Er verschenen tot 40 Lyriden per uur. In 1922 telde H.N. Russell vanuit Griekenland in de vroege avond meer dan 1 Lyride per minuut (HR=96) en de meeste van die meteoren waren tamelijk helder. De storm was voorbij om 20:35 (ref. 5). Later die nacht werden vanuit Engeland nog maar enkele meteoren per uur gezien. De regen schijnt ook vanuit het Europeese deel van de U.S.S.R. en vanuit Polen te zijn waargenomen (ref. 2,6). Volkomen onverwacht was er in 1982 opnieuw een Lyriden regen. Amerikaanse meteorwaarnemers telden aantallen die opliepen tot 80 per uur rond 6:50 UT op 22 april (zonslengte 31.381, ref. 5), hetgeen overeen komt met een ZHR van 150-250! De zwerm was maar zo'n 15 minuten aktiever dan de helft van de aktiviteit tijdens het maximum. De uitbarsting duurde niet langer dan 2-2½ uur (ref. 5). De meteoren waren gemiddeld erg zwak. Eén waarnemer zag 112 Lyriden waarvan er overigens maar 25 helderder dan van magnitude +3 waren.

De periode van 60 jaar in de meer recente verslagen is opmerkelijk. De volgende regen is mogelijk in 2042. Tot die tijd moeten we het doen met een vrij gematigde aktiviteit. De maximale ZHR in de rustige jaren is maar zo'n 15 per uur. Overigens zijn er ook in die "rustige" jaren soms behoorlijk hoge uurfrequenties gemeld. In de morgen van 22 april 1945 werd oor Koziro Komaki, president van de NMS, vanuit Japan tussen 03:00 en 04:07 JST in 67 minuten tijd 103 Lyriden geteld naast 9 sporadische meteoren (ref. 7). Ook zijn hoge uurfrequenties gemeld door Wright en een assistent in 1838 (20 april: 154 meteoren in 4 uur tijd), in 1849 (19 april: 54 meteoren in 1 uur door Herrick en twee andere waarnemers) en op 20 april 1850 schijnt vanuit Bombay in India een buitengewone aktiviteit te zijn opgemerkt (ref. 2,8).

Aangespoord door de ontdekking dat de Leoniden en Perseïden banen hadden die overeen kwamen met die van kometen, vond Prof. Weiss uit Wenen in februari 1867 het verband tussen komeet P/Thatcher, 1861 I en de Lyriden zwerm (ref. 9). De later beroemd geworden T. Oppolzer berekende, toen nog tweedejaars student, zijn eerste baan van een komeet en vond een kleinste afstand tot de Aardbaan van maar 0.0022 AE bij zonslengte 31.171 (ref. 10, equinox 1950). De komeet werd op 4 april 1861 door Albert E. Thatcher ontdekt in NewYork. Eind april was de komeet vanuit Europa met het blote oog zichtbaar en op 4 mei zelfs van magnitude 2-3 (ref. 11,12).

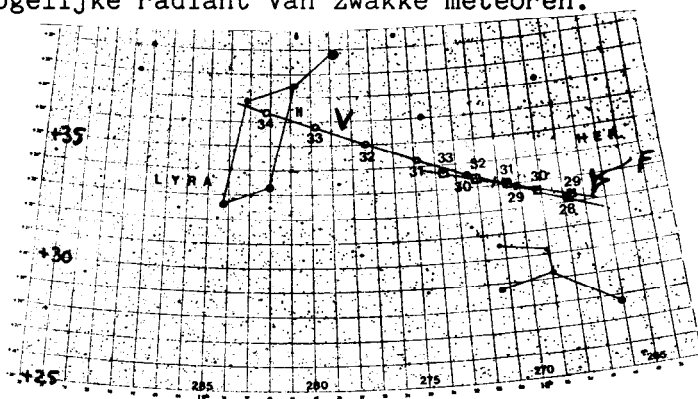
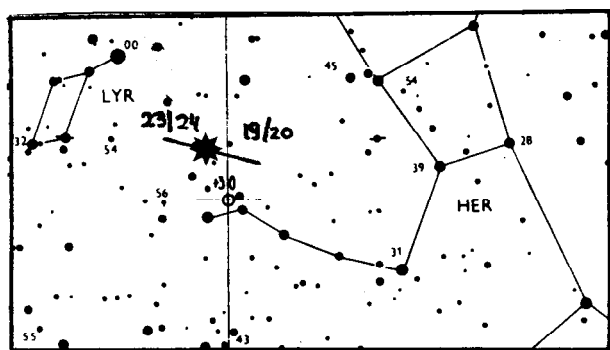


Verschijsning De meteoren zijn vrij snel, maar langzamer dan de Perseïden.

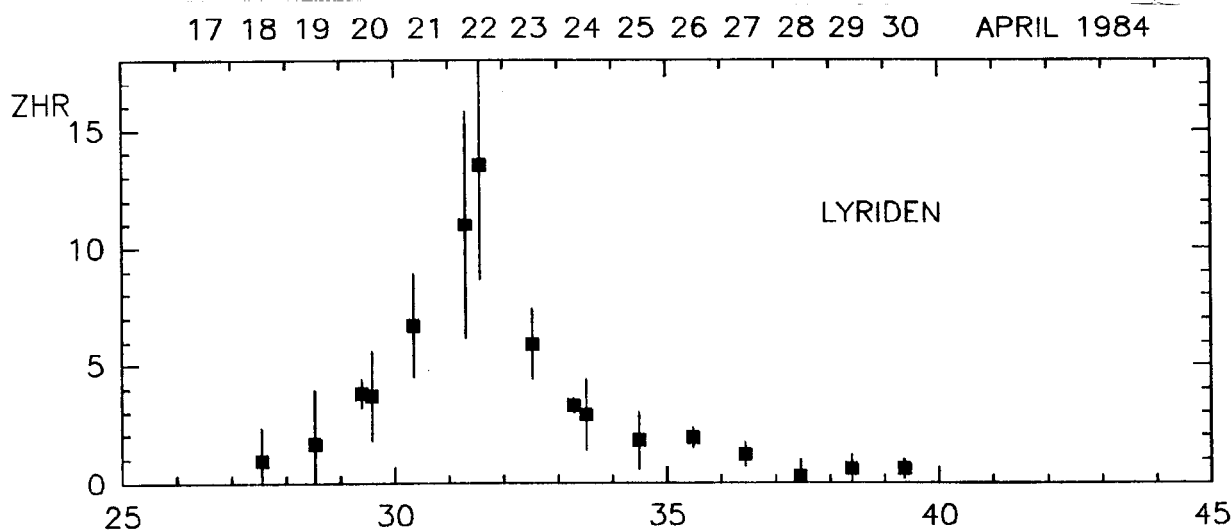
$V_{\infty} = 48.6$ km/s. Er verschijnen weinig heldere Lyriden. De gemiddelde magnitude is ongeveer 2.8 (ref. 17,18,19). Veltman vond dat de gemiddelde magnitude van de Lyriden afneemt tussen 18 en 24 april. Dit volgt ook uit Tsjechische waarnemingen (ref. 20). 10 ± 2 % van de Lyriden vertoont een nalichtend spoor. De sporen duren vrij lang: gemiddeld bijna twee maal zolang dan die van de sporadische meteoren.

De radiant van de Lyriden tijdens het maximum ligt bij RA=272, DEC = 33. De theoretische radiant voor komeet P/Thatcher ligt bij RA=271.5, DEC = 33.5 (ref. 13, 14) en de kleinste afstand Aardbaan-komeetbaan is 0.003 AE bij zonslengte 31.2. De fotografische radiant beweegt met $\Delta RA = 1.23$ en $\Delta DEC = 0.17$ graden per dag (ref. 22).

De visuele radiant is vrij diffuus. Tijdens en na het maximum lijken twee radianten actief. Jenniskens (ref. 16) vond uit tientallen radiant bepalingen, dat de radiant van de zwakkere meteoren sneller beweegt, namelijk met $\Delta RA = 2.4$ en $\Delta DEC = 0.7$ graden/dag. Onderstaande kaart geeft de positie van de fotografische radiant en (rechts) de mogelijke radiant van zwakke meteoren.



Aktiviteit De Lyriden zijn actief tussen 16 en 27 april met een maximum in de nacht van 21/22 april. Meestal is het in Nederland in deze periode erg heilig. In de spaarzame echt heldere nachten zijn de Lyriden goed te herkennen, vooral in de uren na middernacht. Onderstaande ZHR curve werd verkregen uit DMS waarnemingen in 1984 en 1985 (ref. 18,19).



Evolutie De nauwelijks veranderde zonslengte die volgt uit de tijdstippen van de oude sterrenregens, wijst erop dat de komeetbaan in de loop van de eeuwen vrijwel dezelfde bleef. De planeten hebben weinig invloed op de komeetbaan. De hoge aktiviteit in sommige "rustige" jaren en de periode van 60 jaar in de regens van Lyriden kan niet eenvoudig verklaard worden. Guth (ref. 4) stelt dat de jaren van goede aktiviteit voor de Lyriden overeenkomen met de situatie dat Jupiter en Saturnus 413 jaar voordat het materiaal bij de Aarde komt, in conjunctie staan met de zwerm. Jupiter kan de zwerm naderen tot op 1.3 AE. De periode van de Lyridenzwerm is 415 jaar en dat is bijna 14 keer de omlooptijd van Saturnus en 35 omlopen van Jupiter. Een resonantie effect kan misschien zorgen voor knopen in de dichtheids verdeling langs de baan van de Lyriden.

Referenties

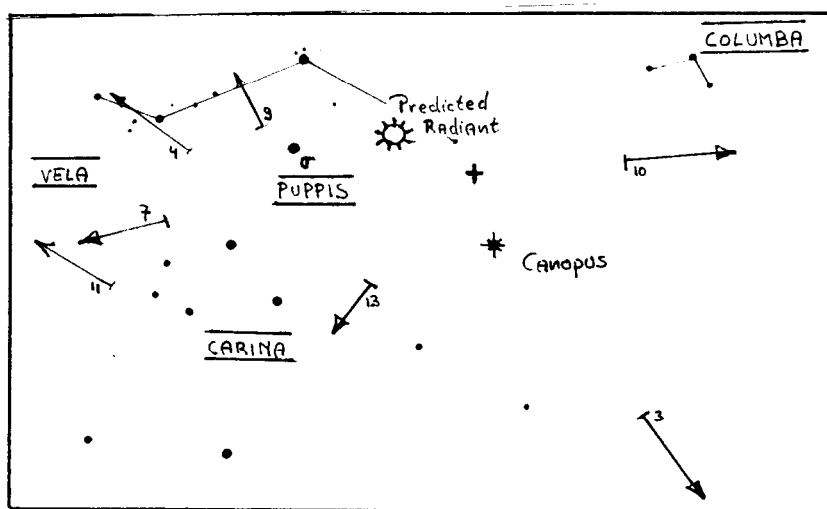
1. Lovell A.C.B.; Meteor Astronomy (Oxford, 1958) Hfdst. 13, par. 3.
2. Guth V.; B.A.C. 1 (1947) 1
3. Tian-shan Z.; Chinese Astronomy 1 (1977) 197
4. Wright F.W., Jacchia L.G., Boehm B.W.; Astron. J. 65 (1960) 40
5. Adams M.T.; Meteor News nr. 58 (July, 1982)
6. Fedynsky V.; Meteors (Moskou, 1959)
7. Yabu Y.; Meteor News nr. 48 (jan. 1980) 7
8. Spalding G.; BAA Newsletter 10 (1982) 2
9. Olivier C.P.; Meteors (Baltimore, 1925) Hfdst. 4, blz 60 e.v.
10. Oppolzer T.; Ast. Nachr. 62 (1864) 177
11. Memoirs of the Royal Astron. Soc. 30 (1862) 192, 215, 216, 240, 241
12. Memoirs of the Royal Astron. Soc. 31 (1863) 41
13. Drummond J.D.; ICARUS 47 (1981) 500
14. Verveer A.; "A theoretical meteor list" Meteoros 19 (1979) 12
15. Hoffmeister C.; Meteorströme blz. 90, 110, 144 e.v. (Weimar, 1948)
16. Jenniskens P.; Radiant 4 (1982) 41
17. Veltman R.; Radiant 4 (1982) 69
18. Veltman R.; Radiant 6 (1984) 81
19. Veltman R.; Radiant 7 (1985) 79
20. Porubcan V., Stohl J.; Skaln. Pleso. Obs. Contr. 11 (1983) 169
21. Wright F.W.; Astron. J. 65 (1960) 33
22. Kresak L., Porubcan V.; B.A.C. 21 (1970) 153

Geschiedenis

Komeet P/Grigg/Skjellerup kwam door een dichte passage langs Jupiter in 1964 in een baan die de Aardbaan dicht passeert. Meteoren van deze komeet werden voor het eerst in 1972 opgemerkt en naar de komeet de "Grigg-Skjellerupiden" genoemd. Kleine sterrenregens waren te zien in 1977 en 1982.

Verschijsning

De theoretische radiant van de baan lag in 1902 bij RA=132, DEC=-5 maar tegenwoordig ligt hij bij RA=107 en DEC=-45 (ref. 2,3). De kortste passage vindt plaats bij zonslengte 32.6 in de nacht van 23/24 april. Dit is dicht bij de ster sigma-Puppis. In 1972 werd door waarnemers uit Perth een radiant positie bepaald bij RA=209, DEC=-49 (zie onderstaande figuur, ref. 4).



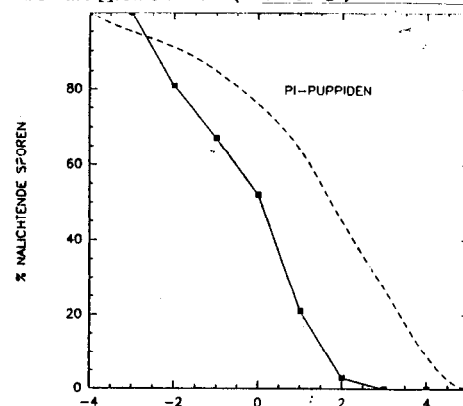
De radiant is waarschijnlijk vrij diffuus. Buhagiar (ref. 4) stelde dat de meteoren die in de voor- en naperiode gezien worden, al veel eerder door de komeet kunnen zijn uitgestoten en daarna door Jupiter in ongeveer dezelfde baan zijn gebracht. Daarnaast zorgt zenit-attractie ervoor dat de radiant soms 10 graden afwijkt van de opgegeven positie. **Zenit-attractie** is de afbuiging van de baan van een meteorofide door de zwaartekracht van de Aarde. Bij een lage radiantstand en een lage snelheid van de meteoren is dit effect belangrijk. Sigma-Puppiden zijn opmerkelijk traag. De theoretisch berekende snelheid is maar $V_{\infty} = 19.0$ km/s. Bovendien is de zwerm een avondzwerm: de radiant gaat onder de horizon rond middernacht. Door de lage snelheid zijn de

meteoren wel gemakkelijk van de sporadische achtergrond te scheiden.

Tijdens het maximum in 1977 waren 12 van de 200 waargenomen meteoren van magnitude -4. De zwerm is gemiddeld erg helder. De door NAPO-MS leden waargenomen Sigma-Puppiden (ref. 5,6) hadden deze magnituden distributie:

m_v :	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	<m>	%trains
1982:	3	8	12	19	39	76	103	99	62	21	5		16
1983:	0	0	1	4	1	11	26	18	12	4	0	2.33	4

De meteoren zijn veelal geel van kleur. In 1982 werd 77% als geel of oranje genoteerd en maar 11% van de meteoren was kleurloos. Ondanks de lage snelheid van de meteoren, laten Sigma-Puppiden veel fragmentatie zien en zelfs $16 \pm 2\%$ liet in 1982 een nalichtend spoor achter. De nalichtende sporen van de heldere ($-4m_v$) meteoren in 1972 duurden 3-4 minuten! In 1982 duurde het langs durende spoor van een -1 of -2 metoor 5 seconden (ref. 5). Onderstaande figuur geeft het percentage nalichtende sporen als functie van de magnitude (ref. 5):



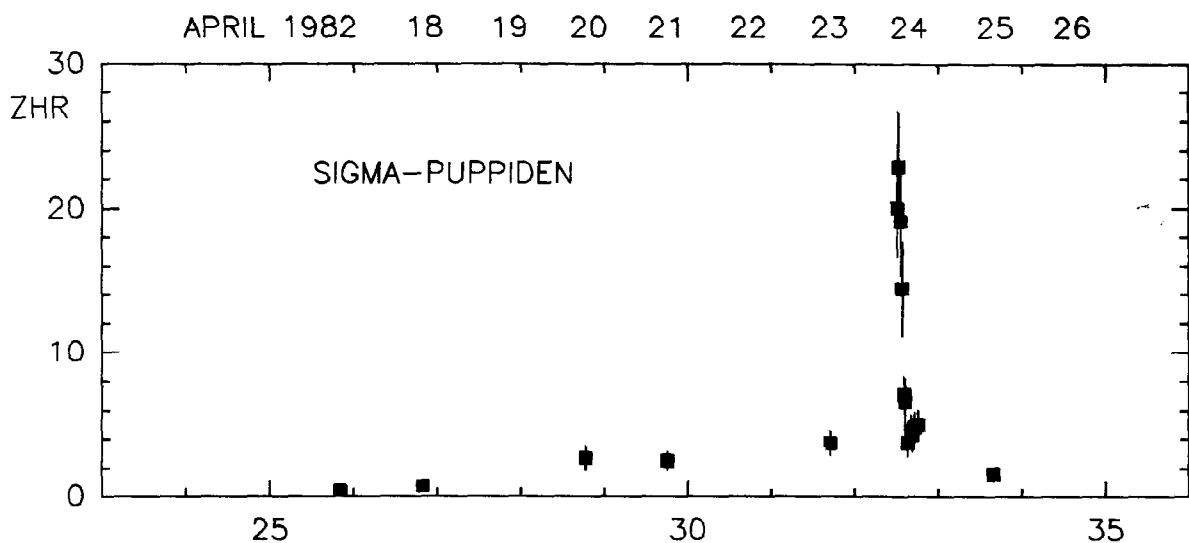
Aktiviteit

De zwerm was in haar beste jaren actief van 17 tot 26 april met een maximum in de nacht van 23/24 april. De aktiviteit schommelt echter sterk. Alleen wanneer de komeet in de buurt van de Aarde is zijn mogelijk grote aantallen Sigma-Puppiden te zien. Dat was in 1967, 1972, 1977, 1982,..., elke 5.1 jaar. De sterke verstoringen door Jupiter maken de zwerm zeer wisselvallig.

In 1967 werd geen aktiviteit bij sigma-Puppis opgemerkt (ref. 4). De komeet was nog te kort in haar nieuwe baan. Pas wanneer er voldoende nieuw materiaal is vrijgekomen ontstaan kleine sterrenregens. In 1972 werden de eerste Sigma-Puppiden opgemerkt vanuit de USA, Nieuw-Zeeland en West-Australië. De

Amerikaanse waarnemers zagen gemiddeld 1.9 meteoren per uur bij een zeer lage radiantstand, de Australische waarnemers gemiddeld 1.2 meteoren per uur. Prof. W.J. Baggaley (ref. 7) nam met de radar van Canterbury in Nieuw-Zeeland een maximale aktiviteit van 70% van de sporadische achtergrond waar.

In 1977 in de nacht van 23/24 april, bij zonslengte 32.90, was het raak: de visuele uurfrequentie werd 38 ($ZHR = 75 \pm 10$). De heldere langzaam bewegende meteoren waren zo spectaculair dat politie, pers, radio en tv overspoeld werden met telefoontjes van toeschouwers. Tussen 1978 en 1981 was de zwerm vrijwel afwezig. In 1982 was er opnieuw een flinke aktiviteit om 10:50 UT (zonslengte 32.524), of misschien iets eerder omdat de waarnemingen niet voor 10:0 uur konden worden gestart (ref. 5). De maximale ZHR was dit jaar 23 ± 4 . Onderstaande figuur toont de ZHR curve voor de 1982 terugkeer (naar berekeningen van Jeff Wood, ref. 4).



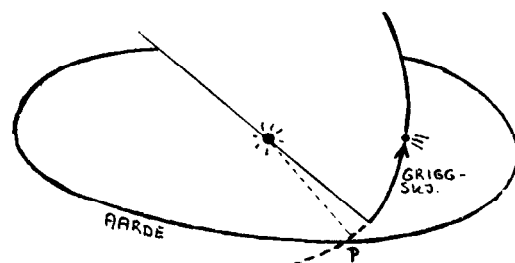
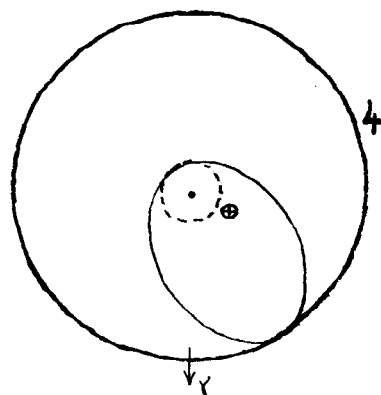
Zeer opmerkelijk was dat er ook in 1983 en 1984 meteoren van deze zwerm werden opgemerkt. In 1983 was de maximale ZHR zelfs 13 ± 3 bij zonslengte 32.44 (ref. 6). Dat wijst erop dat het nieuwe materiaal zich vrij snel langs de baan verspreid. In 1987 waren de omstandigheden voor de Australische waarnemers niet optimaal. Het maximum zou vallen wanneer de radiant al onder de horizon was verdwenen. In de voor- en naperiode werd gedurende 50 uren waargenomen. In die tijd werden er maar 3 mogelijke Sigma-Puppiden opgemerkt bij grensmagnituden tussen 5.7 en 6.2. De zwerm is dit jaar nauwelijks actief geweest (ref. 8).

Evolutie

De komeet P/Grigg-Skjellerup werd in 1902 ontdekt door Grigg in Nieuw-Zeeland en herontdekt in 1922 door Skjellerup. Kresák (ref. 1) vond in 1986 dat komeet 1808 III Pons waarschijnlijk een terugkeer van dezelfde komeet is geweest. De omlooptijd van P/Grigg-Skjellerup is kort: 5.12 jaar. De baan verandert voortdurend onder invloed van Jupiter. In 1964 passeerde de komeet dicht langs deze planeet. Daardoor veranderde de baan zo drastisch dat de komeet plotseling (weer) dicht bij de Aardbaan kon komen. Dit betekent feitelijk dat er een nieuwe zwerm ontstond.

De baanelementen van de komeet zijn in onderstaande tabel gegeven voor alle omlopen dat de komeet is waargenomen (ref. 9). De baan voor het jaar 2000 werd berekend door Belyaev en anderen (ref. 9). De figuren daarnaast tonen de baan ten opzichte van de Aardbaan en de baan van Jupiter (ref. 9,10).

Jaar	ω	Ω	i	e	q
1902	350.73	221.27	8.30	0.7363	0.7531
1922	355.00	215.87	17.51	0.6951	0.8889
1927	355.03	215.86	17.49	0.6906	0.9076
1932	355.23	215.77	17.46	0.6906	0.9077
1937	355.32	215.73	17.47	0.6905	0.9079
1942	356.36	215.41	17.62	0.7035	0.8560
1947	356.40	215.38	17.65	0.7043	0.8531
1952	356.36	215.38	17.63	0.7036	0.8556
1957	356.33	215.39	17.64	0.7036	0.8553
1961	356.38	215.36	17.62	0.7030	0.8578
1967	359.17	212.68	21.05	0.6624	1.0029
1972	359.28	212.65	21.07	0.6629	1.0013
1977	359.32	212.64	21.10	0.6647	0.9934
1982	359.33	212.63	21.14	0.6657	0.9892
2000	1.64	211.29	22.77	0.6444	1.0742



Vroeg in de negentiende eeuw kon de Aarde ook al vrij dicht bij de komeetbaan komen ($<0.06\text{AE}$) (ref. 1). In 1845 kwam de komeet dicht bij Jupiter en veranderde dit: de inclinatie nam 10 graden toe en de knopenlijn werd bijna omgekeerd. In 1964 was er opnieuw een dichte passage langs Jupiter. Die veranderde de kleinste afstand komeetbaan-Aardbaan van 0.14 tot 0.0027 AE. De afstand groeide tot 0.0044 AE in 1972, 0.0123 AE in 1977 en 0.0163 AE in 1982 (ref. 10).

De komeet is getipt als kandidaat voor een dichte passage van de Giotto langs de kern. Dat zou dan moeten gebeuren in Juli 1992. De studie van de Sigma-Puppiden kan informatie opleveren over de grote deeltjes in de zwerm. De satelliet detecteert vooral de zeer kleine deeltjes. Bovendien kan door het bestuderen van deze zwerm het ontstaan en de verdere evolutie van een nieuwe meteorenzwerm gevolgd worden.

Referenties:

1. Kresák L.; B.A.C. 38 (1987) 65
2. Olsson-Steel D.; Australian J. of Astr. 2 (1987) 21
3. Drummond J.D.; ICARUS 47 (1981) 500
4. Buhagiar B.S.; WAMS Bulletin 33 (1977)
5. Wood J.; WAMS Bulletin 180 (1982)
6. Wood J.; NAPO-MS Bulletin (1983) (WGN 12 (1984) 6)
7. Baggaley J.; OBSERVATORY 93 (1973)
8. Wood J.; NAPO-MS Bulletin 184 (1987)
9. Lindblad B.A.; Radiant 9 (1987) 21
10. Belyaev N.A., Kresák L., Pittich E.M., Pushkarev A.N.; Catalogue of Short-Period Comets (Bratislava, 1986)



Geschiedenis

De η -Aquariden zijn afkomstig van komeet P/Halley. De komeet is al in 239 voor Christus waargenomen. Verschillende sterrenregens van de η -Aquariden zijn in Chinese kronieken opgetekend. Zo was er op 2 april in 74 voor Christus (zonslengte 40°): "... een ster zo helder als de Maan die westwaarts bewoog, gevolgd door vele andere sterren", ref. 1). Op 8 april 401 (40°) schreef iemand op: "Vele rood gekleurde vallende sterren gingen westwaarts". Op 9 april in het jaar 443 (41°): "Een vallende ster, zo groot als een perzik, kwam uit het sterrenbeeld Tianjin en ging het sterrenbeeld Zigong binnen. Na een tijdje volgden vlugge vallende sterren elkaar op in groepjes van 3 en 5. (...) Alle vallende sterren gingen noordwaarts, hun aantal tot de ochtendschemering was ontelbaar." Op 8 april 466 (40°) heette het dat "grote en kleine vallende sterren westwaarts gingen. Hun aantal was ontelbaar en nam pas tegen de ochtend schemering af". Op 9 april 530 (40°) "volgden heldere vallende sterren elkaar op, in noordwestelijke richting. Het aantal sporen werd niet minder en moet in de duizenden geteld hebben". Op 13 april 839 (39°) schreef men dat "van de vierde tot de vijfde waarneming over de hele hemel meer dan 200 heldere en zwakke vallende sterren gezamenlijk westwaarts gleden". Op 13 april 1905 (42°) "vlogen kleine meteoren in het zuid-oosten en vielen als bij een regen" (ref. 2). Op 13 april 927 (42°) "gleden vele zwakke sterren noord-west waarts". Op 13 april 934 tenslotte (42°) "gleden vele sterren door elkaar noord-west waarts". Ook een sterrenregen in april of mei 304 kunnen Aquariden geweest zijn (ref. 1).

In 451 sneed de baan van Halley de Aardbaan in de dalende knoop (ref. 3), gunstig voor de η -Aquariden die toen een aantal sterrenregens gaven (401, 443, 466, en 530). Volgens Sekanina (ref. 3) kunnen deze regens ontstaan zijn door materiaal dat bij de terugkeer van P/Halley bij de zon in 295 is losgekomen. In de 10e eeuw was de afstand zwerm-komeet gegroeid tot 0.04-0.05 AE en verschenen de regens bij een zonslengte die drie graden verschilde met die van de komeet.

Sinds de tiende eeuw is de afstand Aarde-komeet gegroeid (tot 0.065 AE tegenwoordig) en zijn geen η -Aquariden regens meer waargenomen.

Verschijsning

Èta-Aquariden zijn alleen goed zichtbaar beneden zo'n 40 graden NB. In Nederland komt de radiant niet hoger dan 2 graden, in de ochtendschemering (ref. 5). In ons land heet het een sport om in de vroege ochtenduren van 4-9 mei een enkele η -Aquaride te "vangen". Naar verluid schijnt Rudolf Velman daar ooit in geslaagd te zijn. Voor het zuidelijk halfrond is het echter de belangrijkste zwerm met een maximale ZHR van 50 ± 10 .

In Japan werd op 5 mei 1982 een η -Aquaride simultaan gefotografeerd. Simultaan gefotografeerde meteoren van zuidelijke zwermen zijn uiterst zeldzaam. De radiant en baanelementen van deze meteor waren (ref. 6):

RA	DEC	V_{∞}	V_h	Ω	ω	i	q	e

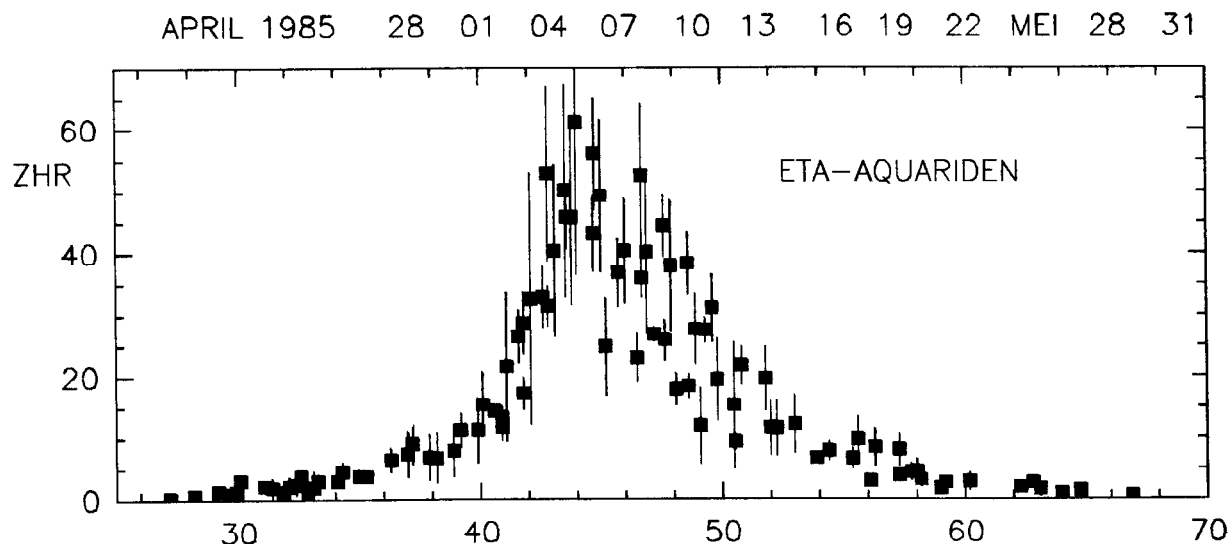
334.62	-1.67	67.84	41.07	43.54	103.89	163.07	0.636	0.9480

Èta-Aquariden zijn razendsnel. $V_{\infty} = 68$ km/s. De meteoren komen gemiddeld van RA=337.7, DEC = -0.5 op 6.0 mei. De radiant verschuift met +0.89 graden in rechte klimming en +0.33 graden in declinatie (ref. 4). Drummond (ref. 20) vond voor de baan van P/Halley in 530 een theoretische radiant bij RA=335, DEC=-2, $V_{\infty} = 68$ km/s en een maximum bij zonslengte 41.5. Voor de baan van P/Halley in 1910 vond hij: RA=338, DEC=+1 en een maximum bij zonslengte 47.5.

De meteoren hebben $r=2.5-2.7$ (1981, 1982, 1987), als berekend door Jeff Wood m.b.v. de standaard kansfunctie. In 1985 werden ook veel waarnemingen buiten de periode van het maximum gedaan en vond men $r=3.05$. De meteoren zijn vooral geel of oranje. Australische waarnemers vonden de volgende percentages geel. 1981: 32.3, 1985: 39.0, 1986: 39.1, 1987: 39.3. Door de hoge snelheid van de meteoren ontstaan een vrij groot aantal nalichtende sporen. Het percentage nalichtende sporen was in 1981: 22%, in 1982: 30%, in 1985: 29.4%, in 1986: 20% en in 1987: 36%, afhankelijk van de weersomstandigheden en soms van de waarnemers die aan de akties deelnamen (ref. 7-11). In 1981 was het percentage nalichtende sporen als functie van de magnitude (ref. 7):

Aktiviteit

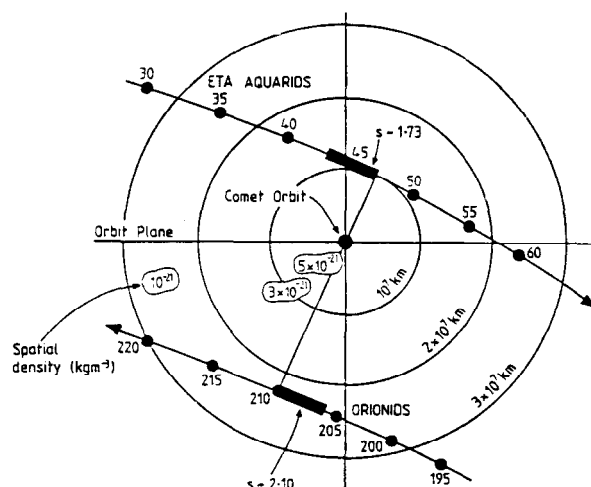
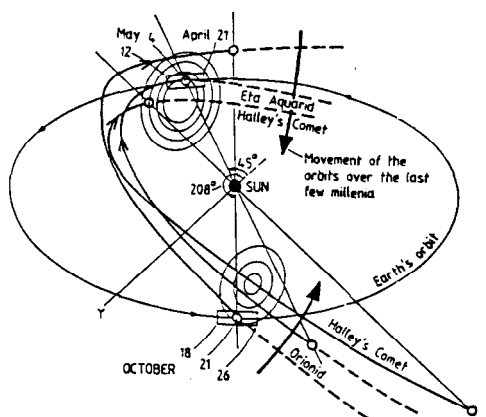
De η -Aquadriden hebben een vrij constante maximum aktiviteit van 50 ± 10 op 5 of 6 mei. Uit NAPO-MS waarnemingen en berekeningen voor de jaren tussen 1981 en 1986 werd onderstaande ZHR curve gemaakt.



Opmerkelijk is dat de ZHR elk jaar nagenoeg onveranderd blijft voor de periode vóór 4 mei. Daarna echter varieert de aktiviteit soms met een factor 2. Overigens werden in 1980 veel hogere ZHR's berekend en in 1987 juist tot 65% lagere ZHR's (ref. 11). Het is niet duidelijk of die variatie in de aktiviteit een echt effect zijn, of worden veroorzaakt door de toestand van de Aardatmosfeer, of de samenstelling van het team waarnemers. Hadjuk (ref. 13) vond ook uit radar waarnemingen dat de aktiviteit van de zwerm wisselvallig is, en vond een periode van 3,5. Het aktiviteits profiel van de η -Aquadriden en haar tweeling zwerm, de Orioniden, laten een aantal submaxima zien die wijzen op filamenten in de zwerm. De posities van die submaxima verschuiven elk jaar met ongeveer 1 graad per jaar in zonslengte. Volgens Hadjuk zijn de submaxima van Orioniden en η -Aquadriden met elkaar gerelateerd en hij stelt zich de structuur van de zwerm voor als bestaande uit een aantal schillen van materiaal dat tijdens verschillende passages van P/Halley langs de zon (in een periode van 76 jaar) is vrijgekomen (ref. 12).

Evolutie

Onderstaande figuren tonen hoe de Aarde door de zwerm van de Orioniden en Eta-Aquadriden trekt (ref. 14,15).



Door planetaire storingen verandert de baan van komeet P/Halley langzaam. In de linker figuur is dat aangegeven. Uit berekeningen (ref. 16) volgt dat de laatste 4000 jaar de lengte van het perihelium ($\pi = \Omega + \omega$) van de Eta-Aquariden en Orioniden niet overeen kwamen met dat van Halley. Daaruit volgt dat de zwermen wellicht al meer dan 4000 jaar oud zijn.

Referenties

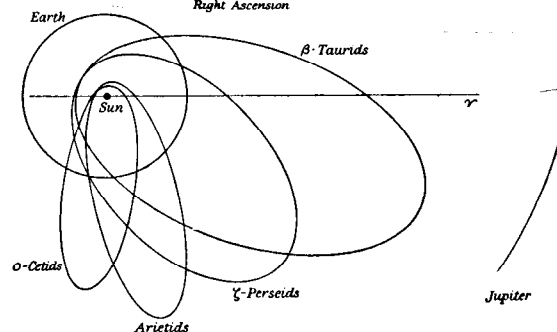
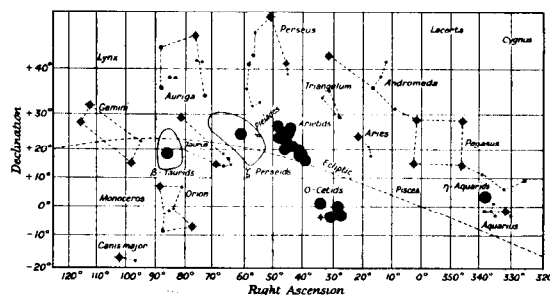
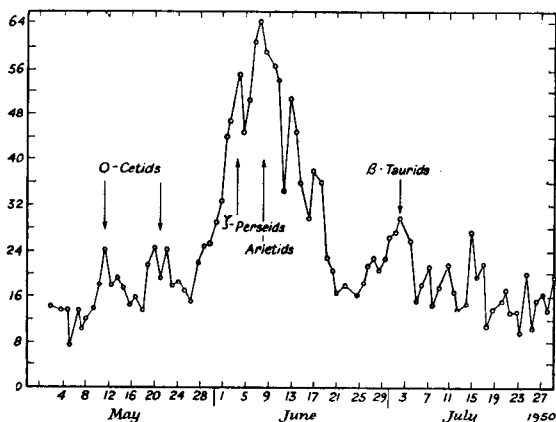
1. Tian-shan Z.; Chinese Astronomy 1 (1977) 197
2. Imotot S., Hasegawa I.; Smits. Contr. Astron. Astroph. 2 (1958) 131
3. Sekanina Z.; in "Asteroids, Comets and Meteoric Matter" (IAU-22) p 239
4. Lovell A.C.B.; Meteor Astronomy (Oxford, 1954) blz 263 e.v.
5. Veltman R.; Radiant 4 (1982) 30
6. Ochiai T.; WGN 13 (1985) 88
7. Wood J.; WAMS Bulletin (1981)
8. Wood J.; WAMS Bulletin 187 (1982)
9. Wood J.; NAPO-MS Bulletin 114 (1985)
10. Wood J.; NAPO-MS Bulletin 152 (1986)
11. Wood J.; NAPO-MS Bulletin 186 (1987)
12. Hadjuk A.; B.A.C. 21 (1970) 37
13. Hadjuk A.; in "Asteroids, Comets and Meteoric Matter" (IAU-22) blz.309
14. Hughes D.W.; preprint represented at the Ringberg Giotto dual symposium
15. Hadjuk A.; in "Solid Particles in the Solar System" (1980, Reidel) p. 149
16. Babadzhanov P.B., Obruvov Yu.; Publ. Tadjikstan Acad. of Sc. 22 (1979) 235
17. Drummond J.D.; ICARUS 47 (1981) 500



Geschiedenis

Radar waarnemingen maken het mogelijk ook overdag meteoren waar te nemen. In de zomer van 1945 werden de eerste radar waarnemingen uitgevoerd en meteen twee actieve radianten gevonden. In de herfst en winter van 1946/47 werd door waarnemers in Jodrell Bank een verband gevonden tussen de het aantal geregistreerde radar echo's per uur en de visueel waargenomen meteor activiteit. Pas toen werd duidelijk wat die daglicht activiteit betekende. Lovell (ref. 1) schrijft: "De resultaten die overdag werden verkregen met dit apparaat waren tot in mei niet uitzonderlijk hoog. Toen werd tijdens de studie van de η -Aquariden zwerm op 1 mei 1947 ontdekt dat deze bekende zwerm niet een geïsoleerde gebeurtenis is, doch slechts het begin van een grote gordel van meteor activiteit die zich uitstrekt in de richting van de zon en alleen overdag waarneembaar is. In eerste instantie was de belangrijkste radiant in het sterrenbeeld Vissen, maar het fenomeen ontwikkelde zich met grote snelheid en op het eind van juni waren tenminste zeven centra van behoorlijke activiteit bepaald, die zich langs de ecliptica uitstrekten tot RA=90 graden. De activiteit van deze daglicht zwermen duurde voort tot in juli en augustus".

Onderstaande figuur toont het maximum aantal echo's per uur dat tussen 06 en 18 uur UT in 1950 werd gemeten. Een viertal actieve radianten of radiant-complexen zijn in de figuur ernaast aangegeven. De zwermen die verantwoordelijk zijn voor de activiteit worden de o-Cetiden, de ζ -Perseiden, de Arietiden en de β -Tauriden genoemd. De laatste zwerm is de tweeling zwerm van de november Tauriden en wordt in verband gebracht met komeet P/Encke.

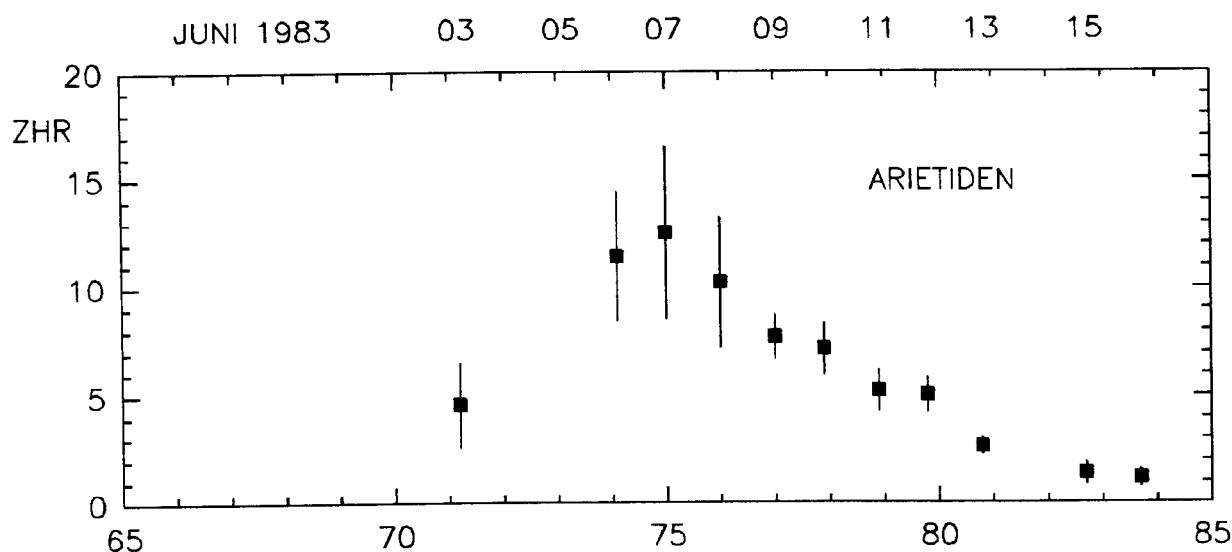


De zwermen zijn elk jaar actief. Vanaf het zuidelijk halfrond blijken deze "daglicht" zwermen ook visueel waarneembaar. Daar is het in juni winter en zijn de nachten lang. Bij zonsopkomst en bij zonsondergang staan de radianten laag boven de horizon. In 1983 werden de Arietiden waargenomen (ref. 2).

Verschijsning Arietiden komen op 7 juni van RA=43.6, DEC=+22.6. De radiant verschuift met $+0.69 \pm 0.03$ graden per dag in rechte klimming en met $+0.61 \pm 0.05$ graden in declinatie (ref. 1). De meteoren hebben een medium snelheid van 37.7 ± 4.3 km/s. Ze hebben een baan in de ruimte die vergelijkbaar is met die van de Delta-Aquariden en wellicht zijn beide zwermen geassocieerd (ref. 1).

De in 1983 door NAPO-MS leden waargenomen aantallen waren laag: 4-5 meteoren per uur bij een donkere hemel. In totaal werden 41 Arietiden waargenomen door vijf waarnemers in 27 uren waarneemtijd. De magnituden distributie was -1/1, 0/0, +1/6, +2/8, +3/13, +4/9, +5/4. Van de 15 Arietiden van magnitude +2 of helderder was er 1 rood, 2 oranje, 6 geel en de rest wit van kleur. 7 van de 41 Arietiden (17%) hadden een nalichtend spoor, allen van korte duur (ref. 2).

Aktiviteit Jeff Wood berekende onderstaande ZHR gegevens. De zwerm heeft een maximum ZHR van 13 meteoren per uur op 7 juni en een breed aktiviteits profiel. Het radio maximum valt ook op 7 juni.



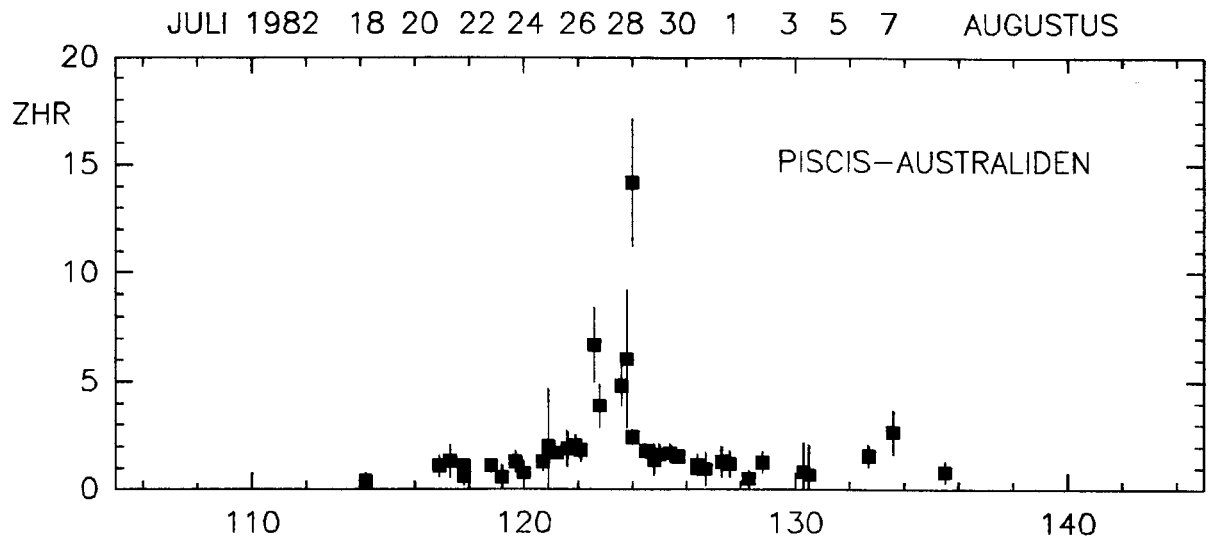
1. Lovell A.C.B.; Meteor Astronomy (Oxford, 1958) blz 358 e.v.
2. Wood J.; NAPO-MS Bulletin (1983) (WGN 12 (1984) 10)

PISCIS AUSTRALIDEN (27 juli)



Verschijning De Piscis Australiden hebben een medium snelheid van $V_{\infty} = 40$ km/s (ref. 1). De meteoren komen van RA = 337, DEC = -33 op 26 juli en van RA = 350 en DEC = -30 op 8 augustus (ref. 2). McIntosh noemde de zwerm Alpha Piscis Australiden. De meteoren zijn gemiddeld iets helderder dan de Delta-Aquariden. NAPO-MS waarnemers vonden een gemiddelde magnitude van $\langle m \rangle = 3.59$ (1981) en 3.20 (1987) t.o.v. 3.61 en 3.52 voor de δ -Aquariden (ref. 3,4). Slechts 4.1% van de meteoren laat een nalichtend spoor na. In 1981 was 10% van 49 waargenomen meteoren oranje van kleur. Geen andere kleuren werden waargenomen. In 1987 was 12.2% geel en 6% blauw van kleur.

Aktiviteit Jeff Wood berekende onderstaande ZHRs. De gecombineerde plot van waarnemingen uit 1981-1983, 1985 en 1987 toont een langzaam toenemende aktiviteit tot 26 juli, een chaotisch maximum, en een langzaam afnemende aktiviteit na 29 juli. Misschien is er een tweede maximum begin augustus.



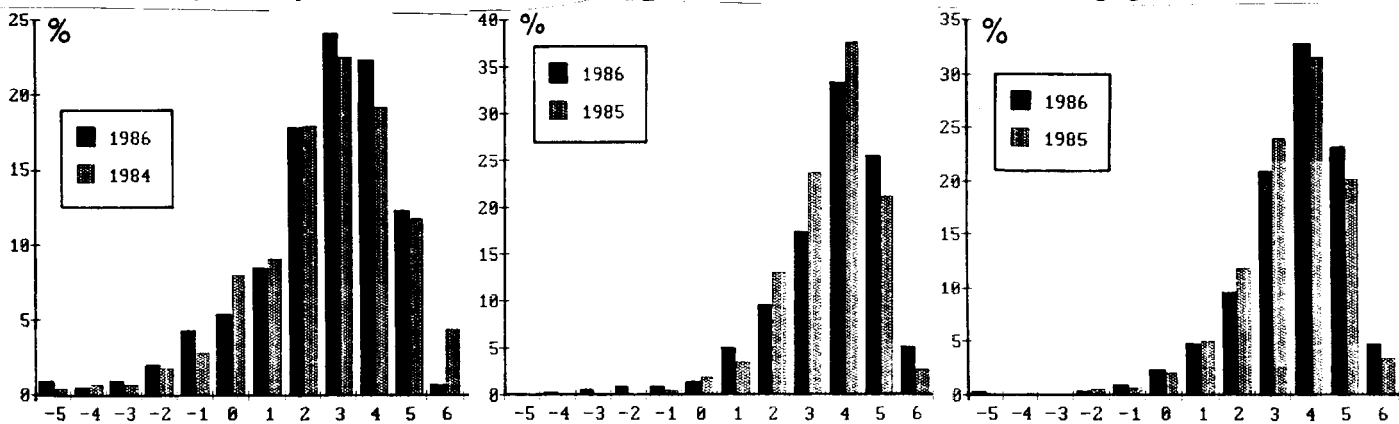
Referenties

1. Kresak L.; B.A.C. 15 (1964) 53
2. McIntosh R., M.N.R.A.S. 95 (1935) 709
3. Wood J.; WAMS Bulletin 164 (1981)
4. Wood J.; NAPO-MS Bulletin 192 (1987)
5. Wood J.; NAPO-MS Bulletin 120 (1985)



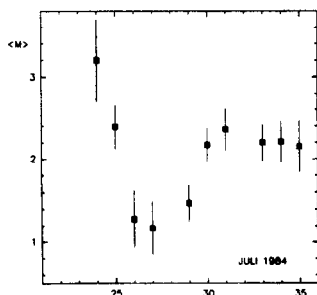
Geschiedenis Eind juni komen langzame meteoren uit radianten in Sagittarius en Ophiuchus. Deze meteoren worden heel algemeen de **Sagitariden** genoemd. De meteoren zijn, net als bij de Virginiden, afkomstig van een complex van eclipticale zwermen. McIntosh gaf in 1935 een lijst van radiant posities aan het zuidelijk halfrond (ref. 1). Daarin staan bijna 100 radiant posities van Sagitariden. Pas in juli springt één zwerm er uit: de α -Capricorniden. De zwerm is opvallend in lijsten van gefotografeerde meteoren.

Verschijsning De meteoren zijn niet talrijk, maar vooral de heldere meteoren zijn bijzonder opvallend. Ze trekken lange sporen aan de hemel, vaak als balletje met staart. Het zijn langzame meteoren, $\langle V_{\infty} \rangle = 25.3$ km/s. De meteoren zijn gemiddeld erg helder. De gemiddelde magnitude is ongeveer 2.1 (ref. 2). Ter illustratie zijn magnituden distributies van α -Capricorniden (rechts), δ Aquariden (midden) en sporadische meteoren (links) gegeven.



In Australië vond men rond het tijdstip van het maximum dat $r = 2.14$ (ref. 3).

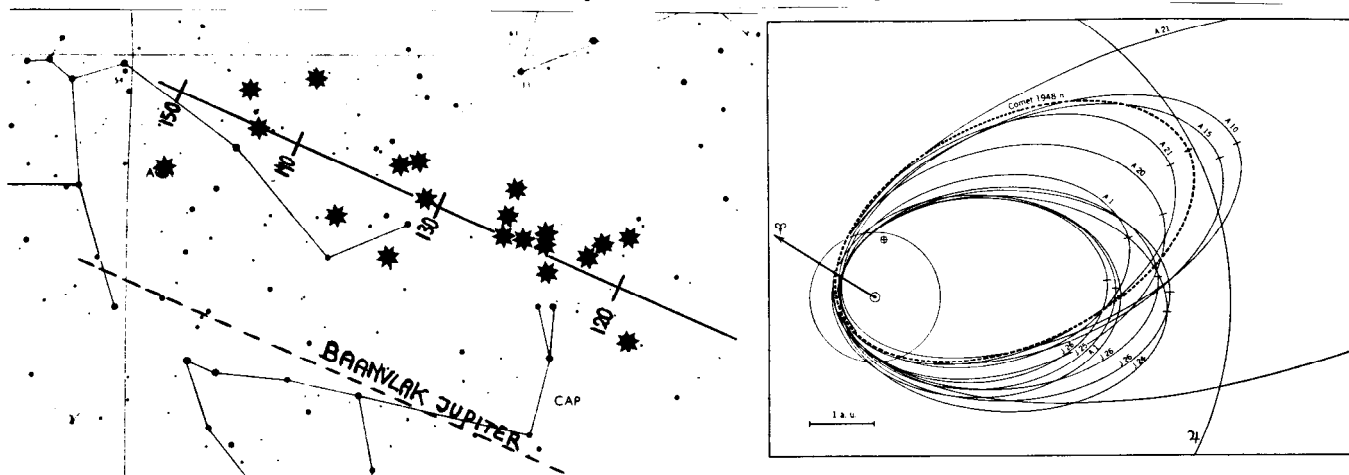
Uit DMS waarnemingen van de periode na het maximum werd een r -waarden van 2.32 afgeleid (ref. 4). De gemiddelde magnitude is waarschijnlijk niet constant, maar is hoger tijdens het maximum op 28 juli (zonslengte 124). Nevenstaand verloop van de gemiddelde magnitude met de tijd werd in 1984 gevonden (ref. 2).



Door de vele heldere meteoren is het percentage nalichtende sporen vrij hoog. In 1984 vond Veltman $9.1 \pm 1.5\%$. In 1981 vond Wood $7 \pm 3\%$ (ref. 9) en in 1987 $6.2 \pm 1.5\%$. De sporen duren maar kort, bij een -6 meteor niet langer dan 1 seconde, en zijn vaak niet meer dan een staartje achter de kop van de meteor.

oranje van kleur. Zo'n 36% is geel (ref. 3).

DEC = -9.4. De radiant van de α -Capricorniden is vrij diffuus.



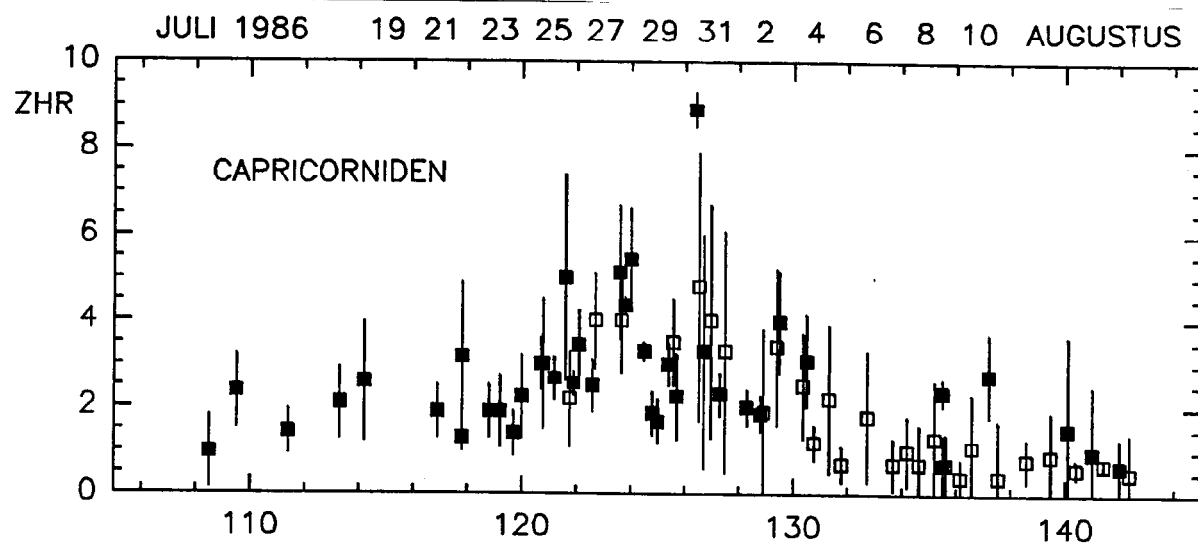
inclinatie van 7 graden. Overigens heeft de komeet zelf $i=13$.

Periode	Radiant (-beweging)	N _{rad.}	Naam
10 juni - 10 juli:	RA=262, DEC=-20 naar RA=275, DEC=-20	10	μ-Sgr.
2 juli - 19 juli:	RA=283, DEC=-15	9	Sagitariden
10 juli - 15 juli:	RA=302, DEC=-17 naar RA=308, DEC=-19	12	σ-Cap.
10 juli - 20 juli:	RA=302, DEC=-14 naar RA=317, DEC=-11	10	β-Cap. II
23 juli - 4 aug.:	RA=292, DEC=-10 naar RA=297, DEC=-11	3	37 Aql. II
23 juli - 31 juli:	RA=300, DEC=-09 naar RA=305, DEC=-8	6	Capricorniden
22 juli - 31 juli:	RA=300, DEC=-11 naar RA=308, DEC=-10	15	α-Pr. II
18 juli - 5 aug.:	RA=325, DEC=-15	26	δ-Pr.

* McIntosh (ref. 1) geeft o.a. deze uit visueel bepaalde radiant posities gevonden zwermen. N is het aantal gebruikte radiant bepalingen.

De α -Capricorniden zelf zijn wel in verband gebracht met komeet Lexell 1770 I. P/Lexell had in 1770 een theoretische radiant bij RA=276, DEC=-20 en $V_{\infty} = 24$ km/s. De Aarde passeerde de komeetbaan op 6 juli op een afstand van 0.01 AE (ref. 10). Het tijdstip van dichtste passage is onnauwkeurig vanwege de lage inclinatie van de komeetbaan (1.6 graden). De komeet is maar in 1 jaar gezien.

Aktiviteit Ik vond in fotografische lijsten twee mogelijke vroege Capricorniden: nr. 4147 uit ref. 7 en nr. 570354 uit ref. 8 die verschenen op 26 juni 1952 en 1 juli 1957 respectievelijk. De zwerm is dan nog nauwelijks van de achtergrond te scheiden. Pas na 22 juli neemt de ZHR toe tot ongeveer 4 tijdens het maximum rond 28 juli. Een groot aantal Capricorniden zijn gefotografeerd in de periode tussen zonslengten 119 en 126 (11 uit 20). Deze periode komt overeen met het maximum van de zwerm uit Australische waarnemingen en het helderheids piekje dat Veltman vond in 1984. Onderstaande ZHR curve toont DMS (open blokje) en NAPO-MS (zwart blokje) data.



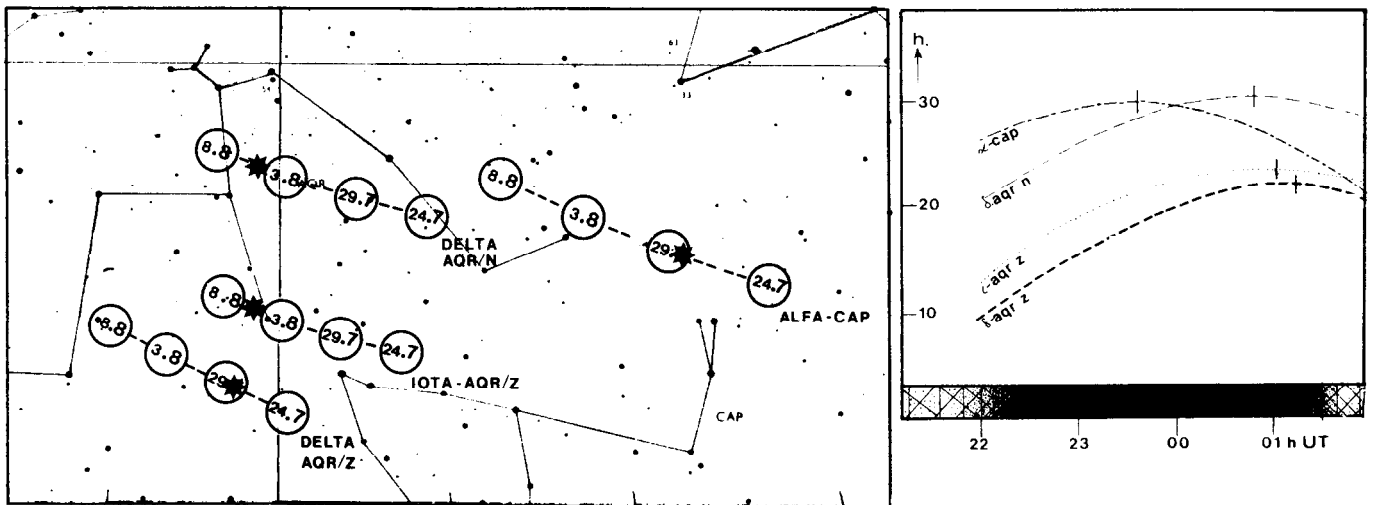
1. McIntosh R.A.; M.N.R.A.S. 95 (1935) 709
2. Veltman R.; Radiant 6 (1984) 120
3. Wood J.; NAPO-MS Bulletin 192 (1987)
4. Veltman R.; Radiant 9 (1987) 63
5. Wright F.W., Jacchia L.G., Whipple F.L.; Astron. J. 61 (1956) 61
6. Jacchia L.G., Whipple F.L.; Smits. Contr. to Astroph. 4 (1961) 97
7. Babadjanov P.; Smits. Contr. to Astroph. 7 (1963) 28
8. Southworth R.B., Hawkins G.S.; Smits. Contr. to Astroph. 7 (1963) 261
9. Wood J.; WAMS Bulletin 164 (1981)
10. Drummond J.D.; ICARUS 47 (1981) 500



Geschiedenis

Op 10 juli 748 (26 juli 1950) "vielen sterren met 10 en 5 tegelijk". Net voor middernacht op 23 juli 1645 (27 juli 1950) "verspreidden zwakke sterren zich over de hemel en vielen als sneeuwvlokken naar beneden ". Op 23 juli 1646 werd in Chinese kronieken opnieuw opgetekend dat "sterren vielen als regen" (ref. 1). Dit waren misschien δ -Aquadriden. In China schijnen in de 10e tot de 12e eeuw 600 vuurbollen waargenomen te zijn van deze zwerm (ref. 13).

De Delta-Aquariden zwerm bestaat net als de Tauriden zwerm uit twee clusters van meteoroiden, die banen hebben die symmetrisch liggen t.o.v. het baanvlak van Jupiter. De twee zwermen worden de Delta-Aquariden Noord (DAN) en de Delta-Aquariden Zuid (DAZ) genoemd. De laatste is verreweg het actiefste: de zuidelijke tak heeft een maximum ZHR van 15 op 29 juli, de noordelijke tak komt niet verder dan een ZHR van 2. Onderstaande figuur toont de radianten van beide subzwermen, samen met die van de Iota-Aquariden en Capricorniden, twee andere zwermen die in dezelfde periode actief zijn.



Verschijsning

De **Delta-Aquariden Zuid** zijn langzamer dan de Perseïden, maar sneller dan de Capricorniden: $V_{\infty} = 43.0$ km/s. Ze zijn ook wat sneller dan de Iota-Aquariden. De voor zenit-attractie gecorrigeerde radiant ligt bij RA=339.2, DEC=-16.7 en beweegt per dag met $+49' \pm 3'$ en $+10' \pm 3'$ graden in RA en DEC (ref. 2).

Ongeveer 20% van de Delta-Aquariden Zuid zijn geel van kleur, een klein percentage is blauw en de rest kleurloos. Extreem weinig, maar 4-5% van de meteoren, laat een nalichtend spoor na. In 1984 (ref. 3) werd de volgende distributie gevonden: -3/77%, -1.5/43%, 1/20%, 2.5 5%, 3.5 2%. Spor: 5.3%.

De zwerm is rijk aan zwakke meteoren. Onderstaande tabel geeft een overzicht van gemiddelde magnituden en r-waarden.

Jaar:	Ref.:	<m>	<M>	r	methode	opm.	nal.	sporen
1986	5	3.65 $\pm$ 0.13	3.44 $\pm$ 0.13	3.5	P(M)	na max.		
1985	4	3.74 $\pm$ 0.05	3.68 $\pm$ 0.06	3.0	<M>	na max.	4.4	
1984	3	3.26 $\pm$ 0.05	2.72 $\pm$ 0.07	2.6	<M>		4.4	
1987	7	3.52 $\pm$ 0.04		3.6	P(M)		4.1	
1981	6	3.61 $\pm$ 0.08					5.2	
1944-55	8	2.87 $\pm$ 0.07	2.87 $\pm$ 0.07	3.0	P(M)			

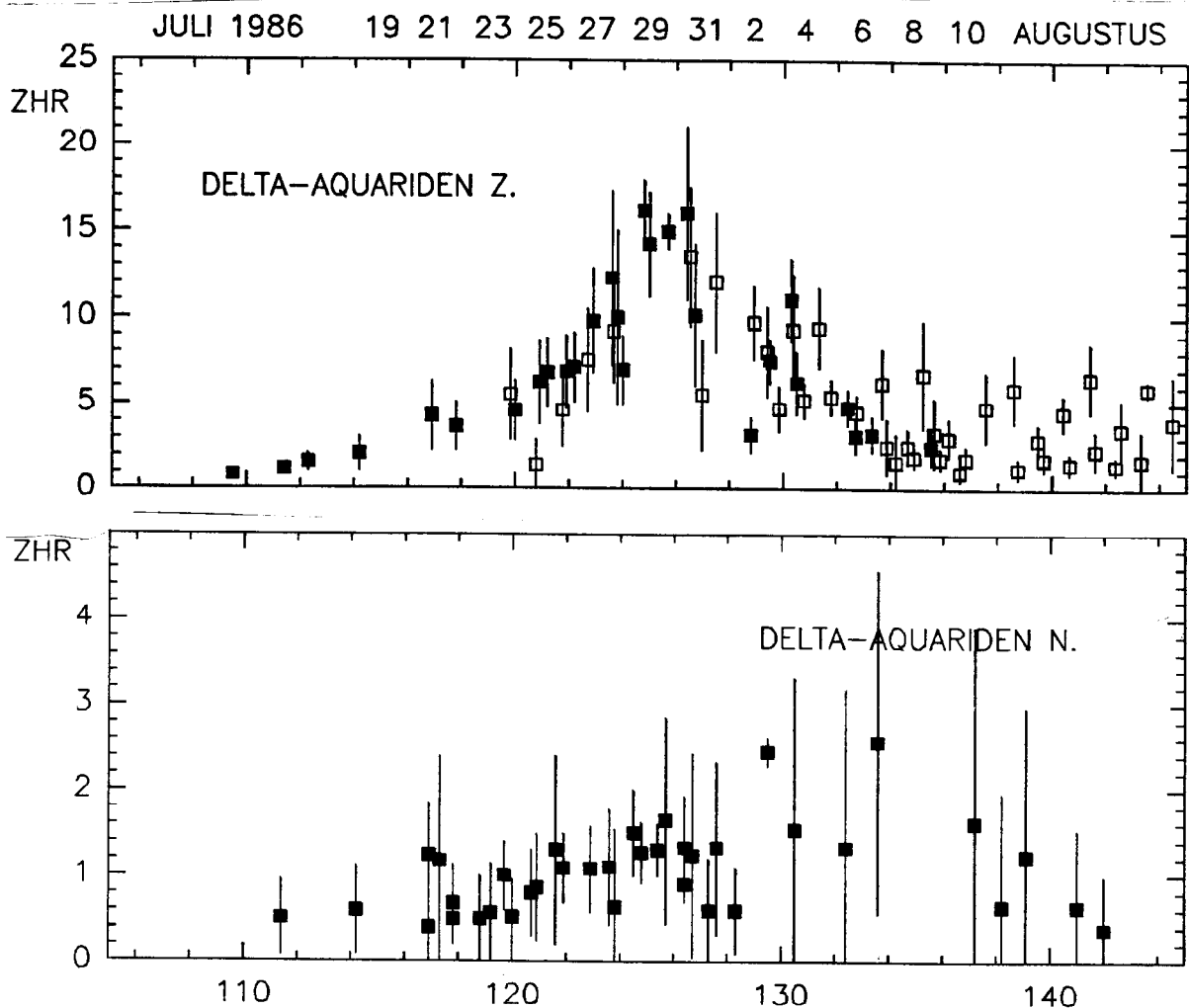
De **Delta-Aquariden Noord** zijn door Wright, Jacchia en Whipple ontdekt uit lijsten van gefotografeerde meteoren (ref. 9). Ze hebben een radiant bij RA=338.9 DEC = -0.7 op 5 augustus (zonslengte 132.5) die verschuift met 1.0 graad in RA en +0.15 graad in DEC (ref. 10). Ze lijken in veel opzichten op de DAZ. De gemiddelde snelheid van 42.3 km/s. Ook de DAN zijn gemiddeld zwak. In 1987 was $m = 3.47 \pm 0.13$ t.o.v. 3.52 ± 0.04 voor de DAZ. Ook van de DAN is ongeveer 20% geel van kleur en laat 3.4% een nalichtend spoor achter (ref. 7).

Aktiviteit

De zwermen zijn vanuit Nederland moeilijk waarneembaar: maar 10-20% van de ZHR wordt onder goede omstandigheden gezien. Rond de maximum nachten zijn hooguit 15 meteoren per nacht te zien, de meeste vroeg in de ochtend. Dat komt omdat de radiant van de actieve Delta-Aquariden Zuid in Nederland maar laag boven de horzion komt. In zuid-Frankrijk komt de radiant 8 graden hoger dan in Nederland. Daar zijn door waarnemers tot 15 meteoren per uur geteld.

Onderstaande ZHR curves tonen de aktiviteit van de beide takken. DMS gegevens uit 1984, 1985 en 1986 (open vierkanten, geen onderscheid tussen i- en δ -Aquariden) en NAPO-MS gegevens uit 1981-1984, vullen elkaar goed aan.

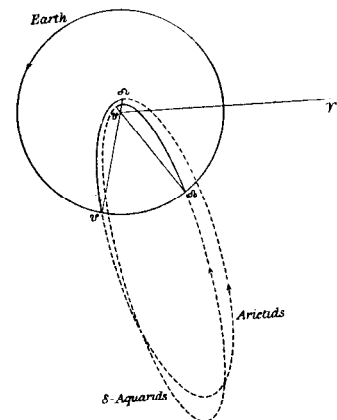
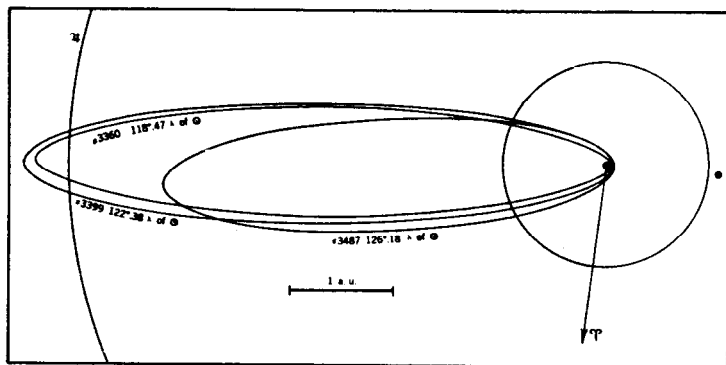
De δ -Aquadriden Zuid hebben een relatief scherp bepaald maximum bij zonslengte 125 (29 juli 1986). De maximale ZHR is 15. In 1985 en 1987 werd door Jeff Wood hogere ZHR waarden berekend: tot 27 bij zonslengte 124.4. In 1985 leek de zwerm ook sneller op te lopen. Dit moet onderzocht worden. De δ -Aquadriden Noord hebben een flauw maximum, misschien rond 5 augustus. De gegevens voor begin augustus zijn helaas onzeker. De zwerm is actief tot 25 aug. (ref. 10).



Evolutie

	RA	DEC	V_{∞}	a	e	q	ω	Ω	i
DAN: 8 aug. '86	343.83	+1.23	42.0	2.21	0.970	0.067	333.8	135.4	26
DAZ: 9 aug. '86	347.80	-14.00	39.6	2.30	0.947	0.123	143.9	316.4	25

In 1986 fotografeerde DMS waarnemers deze late δ -Aquadride Zuid en een δ -Aquadride Noord.



Bovenstaande figuur (ref. 2) toont de banen van enkele gefotografeerde Delta-Aquariden Zuid. Merk op dat de meteoroiden zeer dicht bij de zon en zeer dicht bij Jupiter kunnen komen. Bij het perihelium worden de stofjes tot 800 °C verhit (ref. 2). Bij het aphelium wordt de baan van de stofjes gestoord. Terentjeva (ref. 13) geeft dat in het verleden de radiant 4-5 dagen in zonslengte verschoven is gedurende 1000 jaar. Door de korte baan is de oorspronkelijke komeet waarschijnlijk nog niet zo lang geleden snel uit elkaar gevallen en is de zwerm zeer breed geworden. De radiant van beide takken is ook opmerkelijk diffuus. De met radar vastgestelde snelheden blijken 2-4 km/s lager te zijn dan de snelheden die uit simultaan opnamen zijn verkregen: zwakke en heldere meteoren hebben misschien systematisch andere banen (ref. 13). De Daglicht Arietiden (juni) zijn waarschijnlijk dezelfde meteoren als de δ-Aquariden.

- Referenties**
1. Tian-shan Z.; Chinese Astronomy 1 (1977) 197
 2. Wright F.W., Jacchia L.G.; Astron. J. 59 (1954) 400
 3. Veltman R.; Radiant 6 (1984) 120
 4. Veltman R.; Radiant 8 (1986) 62
 5. Veltman R.; Radiant 9 (1987) 63
 6. Wood. J.; NAPO-MS Bulletin 192 (1987)
 7. Wood. J.; WAMS Bulletin 164 (1981)
 8. Kresáková M.; Contr. Astron. Obs. Skalnaté Pleso 3 (1966) 75
 9. Wright F.W.; Astron. J. 65 (1960) 40
 10. Wright F.W., Jacchia L.G., Whipple F.L.; Ast. J. 62 (1957) 225
 11. Betlem H., De Lignie M., Ter Kuile C.; Radiant 9 (1987) 43
 12. Wood. J.; NAPO-MS Bulletin 120 (1985)
 13. Terentjeva A.K.; Smits. Contr. to Astroph. 7 (1963) 293

IOTA AQUARIDEN (5 augustus)



Geschiedenis Van juni tot september zijn er een groot aantal zwermen en zwermpjes actief in Aquarius en Capricornus. De delta-Aquariden en Capricorniden zijn daarvan het meest opvallend. Ook is er nog een zwerm die de iota-Aquariden wordt genoemd. Deze zwerm kwam vroeger al voor in lijsten met waargenomen radiant posities. McIntosh (ref. 1) geeft 25 juli tot 5 augustus als aktiviteits periode voor de i-Aquariden. De radiant beweegt in die tijd van RA=332, DEC=-15 naar RA=338, DEC=-18 (bepaald uit 13 radiant posities). Maar van 31 juli tot 11 augustus vond hij een radiant die bewoog van RA=330, DEC=-14 naar RA=339, DEC=-10 (uit 7 bepaalde posities). Bovendien werd tussen 18 juli en 5 augustus nog 26 maal een radiant gevonden bij RA=325, DEC=-15 en tussen 10 en 15 juli 12 radianten die een dagelijkse beweging lieten zien van RA=332 → 338, DEC=-15 → -12.

Verschijsning De iota-Aquariden liggen kwa snelheid in tussen de Delta-Aquariden en de Capricorniden: $V_{\infty} = 34$ km/s. De radiant ligt 8 graden rechts van die van de δ Aquariden Zuid (zie "Delta-Aquariden"). Om beide zwermen goed uit elkaar te kunnen houden, kan de snelheid van de meteoren een hulpmiddel zijn. De gemiddelde helderheid van de i-Aquariden is vrijwel gelijk aan die van de δ -Aquadriden (ref. 2,3), vrij zwak.

	i-Aqr.		δ -Aqr.		
1981	3.98 $\pm$ 0.10	3.61	$\pm$ 0.08		
1982	3.12 0.14	3.01	0.06	In 1987 was 43% van de meteoren geel of	
1984	3.58 0.24	3.55	0.08.	oranje. 4% van de i-Aquariden liet een	
1987	3.32 0.08	3.52	0.05	nalichtend spoor achter, net zoveel als de	
				δ -Aquadriden. Net als bij de δ -Aquadriden	
				bestaat er waarschijnlijk een noordelijke en een zuidelijke tak, die de Iota-	
				Aquadriden Noord (IAN) en de Iota-Aquadriden Zuid (IAZ) worden genoemd. De	
				zuidelijke is het meest actief en heeft een flauw maximum rond 5 augustus. De	
				ZHR van de i-Aquadriden Noord is zo laag in juli en begin augustus, dat de	
				zwerm door NAPO-MS waarnemers niet gescheiden kon worden van de sporadische	
				achtergrond en de andere zwermen die actief zijn in dit gebied.	

De radiant (-beweging) van de **Iota-Aquariden Zuid** werd gevonden uit radar (ref. 4) en fotografische opnamen (ref. 5). Er is een grote spreiding in banen binnen de zwerm. De inclinatie varieert tussen 0 en 13 graden. Een deel heeft

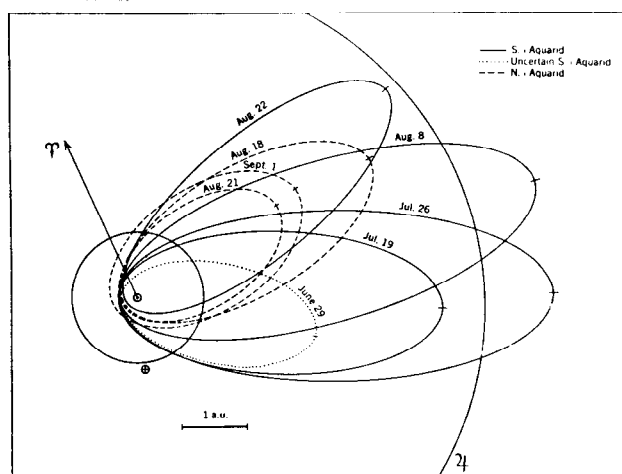
ref.	λ_0	RA	DEC	ΔRA	ΔDEC	V_∞
------	-------------	----	-----	-------------	--------------	------------

i-Aquariden Zuid:

radar:	126.6	327.8	-17.8	?	?	33.4
fotos:	135.3	337.8	-14.1	+0.98	+0.33	35.8
lage i:	118.8	317.8	-16.6	+1.14	+0.31	33.4

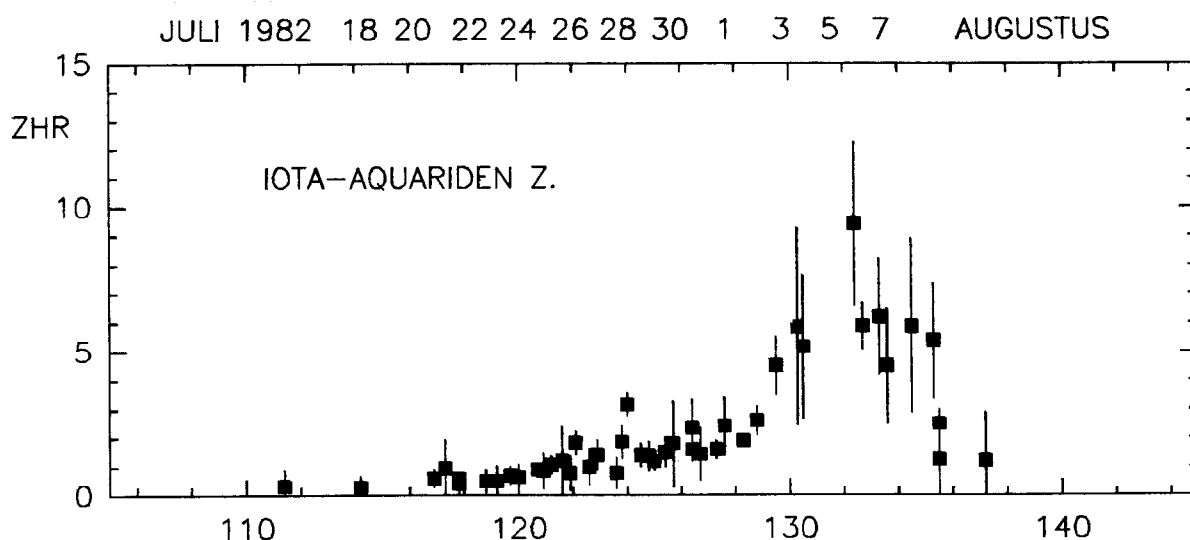
i-Aquariden Noord:

radar:	119.6	320.7	-8.2	?	?	34.8
fotos:	132.5	330.8	-4.9	+1.03	+0.15	31.5



opmerkelijk lage inclinaties, tussen 0 en 3 graden. Acht banen geven gemiddeld de RA = 126.6, DEC = -14.1 en $V_\infty = 33.8$ bij zonslengte 126.6; in de bovenstaande tabel aangegeven met "lage i". Deze waarden wijken nauwelijks af van de radar resultaten voor de hele zwerm i-Aquariden Z. De 8 banen werden, gelijkmatig verdeeld, gefotografeerd tussen 26 juni en 6 augustus. Op 26 juni is de zwerm dus al actief. Bovenstaande figuur (uit ref. 5) geeft enkele banen van i-Aquariden. De banen van 19 en 26 juli hebben een lage inclinate.

Aktiviteit De visueel actieve i-Aquariden Zuid hebben een maximum ZHR van 6 rond 5 augustus. Onderstaande figuur geeft NAPO-MS resultaten.



1. McIntosh R.; M.N.R.A.S. 95 (1935) 709
2. Wood J.; WAMS-Bulletin 164 (1981)
3. Wood J.; NAPO-MS Bulletin 2 (1982), nr. 85 (1984) en nr. 192 (1987)
4. Kashcheyev B.L., Lebedinets V.N.; Smits. Contr. to Astroph. 11 (1965) 183
5. Wright F.W.; Jacchia L.G.; Whipple F.L.; Astron. J. 62 (1957) 225



Geschiedenis

De Perseiden zwerm is de meest opvallende zwerm aan het noordelijk halfrond. Tijdens het maximum verschijnen zo'n 50 meteoren per uur onder ideale omstandigheden. Waar nog bij komt dat het weer half augustus vaak aangenaam is en de nachten regelmatig helder zijn. Van deze zwerm is ongetwijfeld het meeste bekend, en ook veel van wat we nu van meteoroorzwermen weten is men bij deze zwerm voor het eerst op het spoor gekomen. Olivier (ref. 1) geeft daar een boeiend verslag van.

Al in de 18^e eeuw was bij deze en gene bekend dat in de tweede week van augustus veel meteoren aan de hemel verschenen. A. Quételet uit België bracht in 1839 dit feit algemeen onder de aandacht in zijn "Catalogue des Principales Apparitions d'Etoiles Filantes". Hij vertelde ook dat de zwerm bij Ierse boeren bekend stond als de "Laurentius tranen", genoemd naar St. Laurentius die op 10 augustus zijn feestdag heeft, de dag waarop toen het maximum viel. Het fenomeen dat de meteoren achterwaarts verlengd allen uit één punt komen, de radiant, werd voor het eerst door Prof. John Locke in 1834 opgemerkt. G.C. Shaeffer bepaalde de radiant op 9 augustus 1837 bij RA=55, DEC=+60. In 1841 maakte Littrow duidelijk dat de meteoren uit 830-841 en 1451, opgeschreven in Chinese kronieken, waarschijnlijk ook al Perseiden waren. In 1861 werd voor het eerst het verschijnsel van de radiant beweging opgemerkt door A.C. Twining, aldus Olivier, maar W.F. Denning uit Bristol was de eerste die een goede uitwerking gaf en een radiant beweging vond vanaf begin juli tot 20 augustus (1899). In die tijd hing het in de lucht dat meteoren en kometen wat met elkaar te maken konden hebben. Het was zaak om dat te bewijzen, maar het probleem was dat het zo moeilijk was de snelheid van de Perseiden te meten. H.A. Newton (niet de Newton van de beroemde wet!) zette de eerste stappen op weg naar dit bewijs door aannemelijk te maken dat het stof in ellipsbanen door ons zonnestelsel moest bewegen en door uit visuele simultaan waarnemingen te vinden dat de snelheid hoog moest zijn, tegen de parabolische limiet aan. Het was niet Newton, maar de Italiaan Schiaparelli die, onafhankelijk van hem, ook vond dat de snelheid hoog moest zijn en die uiteindelijk de associatie legde met komeet P/Swift-Tuttle 1862 III. Pas kort daarop werd het verband gevonden tussen de Leoniden en komeet P/Temple-Tuttle. Niet door Schiaparelli zelf

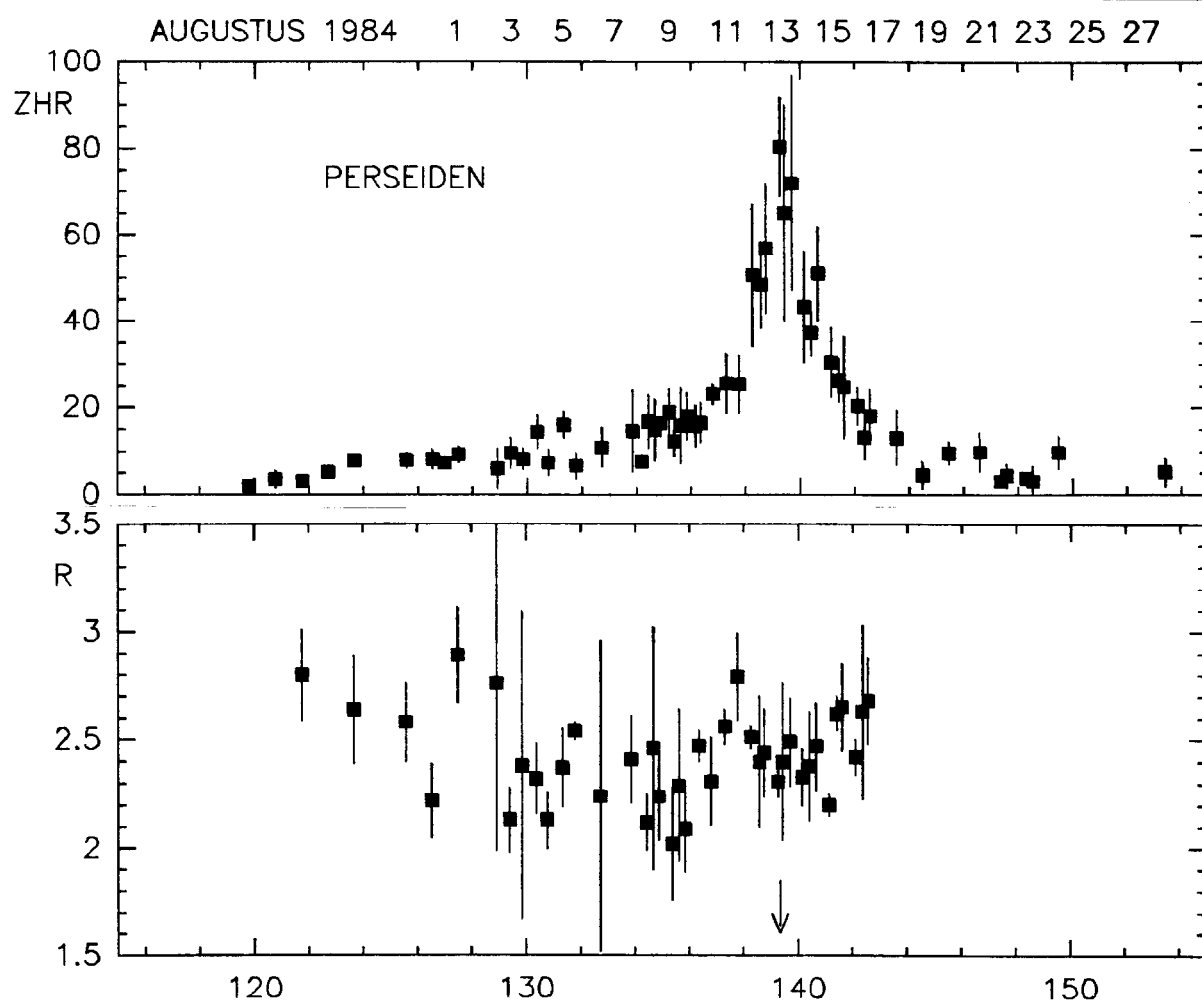
overigens, maar door de redacteur van het tijdschrift waarin de eerste baanberekening van de Leoniden-komeet werd gepubliceerd. Schiaparelli moest wachten totdat hij, pas maanden later, de gedrukte versie in handen kreeg...

In het verleden is al vaak melding gedaan van de Perseïden zwerm. Veel van die Chinese en Koreaanse notities betreffen de gewone terugkeer van de zwerm: "veel meteoren verschenen" en "ongeveer 100 sterren vielen". Beperken we ons strikt tot de data waarop een regen werd opgemerkt, dan ontstaat de volgende lijst. Op 22 juli 830 (na correctie voor precessie is dit zonslengte 138, 10 augustus) "vielen van de avond schemering tot de vijfde waarneming grote en kleine meteoren. Hun aantal was ontelbaar". Op 6 augustus 1581 (9 aug. 1900) "vielen 's nachts in het zuid-westen sterren als regen". Op 6 augustus 1590 (9 aug. 1900) "vielen sterren als regen en minderden in aantal pas na het uur". In 1862, toen komeet P/Swift-Tuttle in de buurt van de zon was, werd door de Chinesen een sterrenregen waargenomen. Op 9 augustus 1862 (10 aug. 1950) "trokken in de avond meteoren zuidwaarts, continue, de hele nacht door." Iemand anders schreef: "bij het vallen van de schemering vielen een groot aantal sterren kris kras door elkaar heen, de meeste richting zuid-west (...). Dit werd minder aan het einde van de schemering." De komeet zelf werd in dat jaar ook door de Chinezen opgemerkt, met het blote oog (ref. 2).

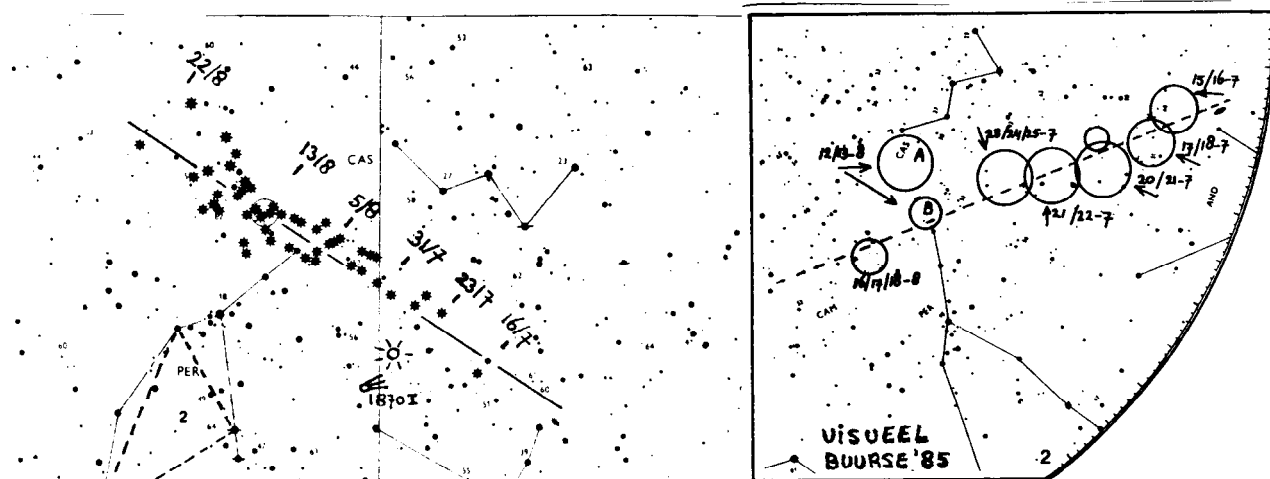
De komeet heeft een periode van ongeveer 121.5 jaar. Op grond van de sterrenregens lijkt de periode tussen 125-136 jaar. Vanaf 1980 werd de komeet terugverwacht bij de zon, maar tot dusver (febr. '88) is dat nog niet gebeurd. De regen in 1862 demonstreert dat in theorie een nieuwe sterrenregen te zien zou moeten zijn wanneer de komeet langs de zon gaat. Het is echter heel goed mogelijk dat zowel de komeet als de regen onopgemerkt blijven!

De zwerm is waarschijnlijk al erg oud. Dat moet wel, omdat blijkt dat van jaar tot jaar de aktiviteit van de zwerm vrijwel constant is: het materiaal heeft de tijd gehad om heel gelijkmatig over de baan van de komeet te verspreiden. De gefotografeerde Perseïden vertonen een zekere spreiding in de banen, die het gevolg kan zijn van willekeurige verstoringen door de planeten. Hamid berekende dat de baan van de komeet 42000 jaar geleden, 343 omlopen, de baan van Jupiter kruiste. Misschien is toen de Perseïden komeet in-gevangen. Wright en Whipple vonden dat ongeveer 1/3 van die tijd nodig is om de spreiding in de banen van de Perseïden te kunnen verklaren (ref. 3).

Verschijsning P/Swift-Tuttle heeft een theoretische radiant bij RA=45, DEC=+57 en een theoretisch maximum bij zonslengte 138.8. De meteoren zijn snel tot zeer snel: $V_{\infty} = 60$ km/s (ref. 4). Veel meteoren zijn geel van kleur als gevolg van een overheersende natrium lijn in het spectrum. Door de hoge snelheid komen flares veelvuldig voor en laten de meteoren gemakkelijk nalichtende sporen na. Uit DMS waarnemingen volgt een percentage van 33% rond het maximum en iets lager (26 %) in de voor en na periode. De sporen duren gemiddeld langer dan die van sporadische meteoren. Een -6 persefide kan een spoor geven dat 6 seconden blijft hangen. Een nalichtend spoor van een -6 sporadische meteor duurt gemiddeld maar 2 seconden. De duur van de nalichtende sporen als functie van de magnitude werd in 1983 voor de Perseiden gevonden op: $\log \langle t \rangle = 0.324 - 0.079 m_V$, en voor de sporadische meteoren: $\log \langle t \rangle = 0.144 - 0.037 m_V$. De gemiddelde magnitude van de Perseiden is vrij constant in de hele aktiviteits periode. Onderstaande figuur toont resultaten voor r en de ZHR uit DMS waarnemingen van 1983 tot 1986 (ref. 5-7).



Het verloop van r lijkt te wijzen op een systematische toename van r , van $r=2.2$ bij zonslengte 130 tot $r=2.6$ bij 143. Daartussen zijn misschien enkele significantie variaties: een helder piekje bij 135.5 en een zwak piekje bij 137.5, die echter veel meer waarnemingen behoeven voordat we daar zeker over kunnen zijn. In een literatuur onderzoek vond Rudolf een zwak piekje bij 136.7 (ref. 8). Vaak wordt gezegd dat op het maximum (zonslengte 139.4) de meteoren gemiddeld erg helder zijn, maar dat is waarschijnlijk een gevolg van de onevenredige bijdrage van veel onervaren waarnemers.



De radiant van de Perseïden vertoont een duidelijke dagelijkse beweging. Eind juli is de radiant te vinden in het sterrenbeeld Andromeda en pas in augustus is de radiant in Perseus. Daarmee moet goed rekening worden gehouden bij het klassificeren van meteoren. Waar de radiant van gefotografeerde meteoren gemiddeld ligt, staat ingetekend in bovenstaande kaart.

Bij zonslengte 139.0, tijdens het maximum op 12 augustus, ligt de fotografische radiant (de gemiddelde radiant van de heldere meteoren) bij $RA=45.8$, $DEC=+57.7$. De radiant verplaatst zich met 0.72 graden per dag in rechte klimming en 0.12 graden per dag in declinatie (ref. 3). Uit visuele waarnemingen uit Rusland volgt een radiantbeweging van 1.33 ± 0.16 graden in RA en 0.24 ± 0.10 graden in DEC . Voorspeld is een beweging van 1.32 graden in RA en $+0.12$ graden in DEC (ref. 9). De fotografische radiant is niet scherp bepaald, maar beslaat een gebied met een diameter van ongeveer 1.3 graden. De telescopische radiant (de radiant van zwakkere meteoren en daarmee kleinere deeltjes) blijkt een hogere spreiding te hebben: tot 4.4 graden in RA en 1.6 graden in DEC . De gemiddelde radiant werd 1.7 graden ten zuiden van de fotografische radiant gevonden: $RA=45.2$, $DEC=+55.9$ (139.0). Na het maximum

lijkt de radiant in twee gebieden uit elkaar te vallen (ref. 10). Ook uit visuele waarnemingen wordt regelmatig een dubbele radiant gemeld. Zo'n dubbele radiant is nog steeds geen algemeen geaccepteerd feit, omdat het gevaar van intekenfouten nooit goed onderkend wordt. Radar waarnemingen tenslotte wijzen op een vrij diffuse radiant met verschillende subcentra: de gevonden radiant posities fluctueren rond een zeker gemiddelde (ref. 9).

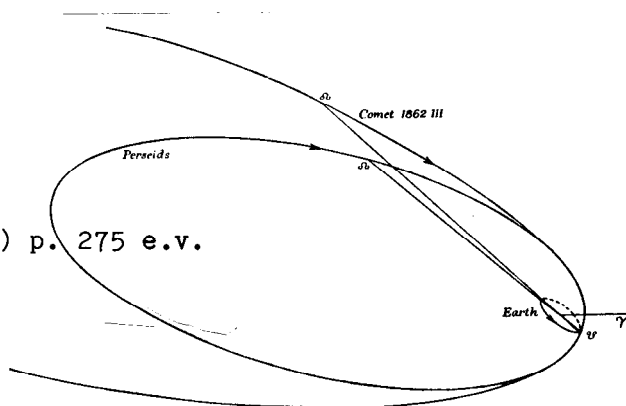
Overigens is er nog een komeet die in dezelfde periode en in het zelfde gebied een meteorenzwerm zou kan veroorzaken, namelijk komeet 1870 I. Op 16 augustus (142.6) zouden meteoren kunnen komen vanaf RA=29, DEC=+48 met $V_{\infty}=63$ km/s.

Aktiviteit Perseiden zijn in het verleden goed waargenomen. De ZHR blijkt van jaar tot jaar redelijk constant, althans tussen 1981-1986, en door de DMS data van die jaren te combineren en te vergelijken met literatuur resultaten werd het volgende gevonden. Tussen zonslengte 120 en 137 neemt de ZHR bijna exponentieel toe volgens (ref. 11):

$$ZHR = 22 (+ 4) \times \text{EXP} (0.11 (+ 0.03) \times (\text{zonslengte} - 137.0))$$

De toename lijkt iets zwakker tussen 131 en 137 (met 0.06 ± 0.02 i.p.v. 0.11). Tussen zonslengte 137 tot 138.9 is een snelle toename van de ZHR totdat een vrij breed maximum wordt bereikt. Bij radar waarnemingen en soms in de visuele waarnemingen is een maximum terug te vinden bij zonslengte 139.20 ± 0.04 . Worden de visuele waarnemingen gemiddeld per dag, dan lijkt het maximum bij zonslengte 139.40 ± 0.03 . Daarna neemt de aktiviteit iets minder snel af tot bij zonslengte 142.0 ± 0.5 het niveau van 137.0 weer is bereikt. Dan neemt de ZHR snel af volgens: $ZHR = 20 (+ 4) \times \text{EXP} (0.29 (+ 0.05) \times (142.0 - \text{zonsl.}))$

1. Olivier C.P.; Meteors (Baltimore, 1925) pagina 42 e.v.
2. Tian-shan Z.; Chinese Astronomy 1 (1977) 197
3. Wright F.W., Whipple F.L.; Harvard Technical Report 11 (1953, Cambridge)
4. Drummond J.D.; ICARUS 47 (1981) 500
5. Veltman R.; Radiant 5 (1983) 111
6. Veltman R.; Radiant 9 (1987) 63
7. Veltman R.; Radiant 8 (1986) 62
8. Veltman R.; Radiant 5 (1983) 61
9. Lovell A.C.B.; Meteors (Oxford, 1956) p. 275 e.v.
10. Porubcan V.; B.A.C. 24 (1973) 1
11. Jenniskens P.; Radiant 8 (1986) 120



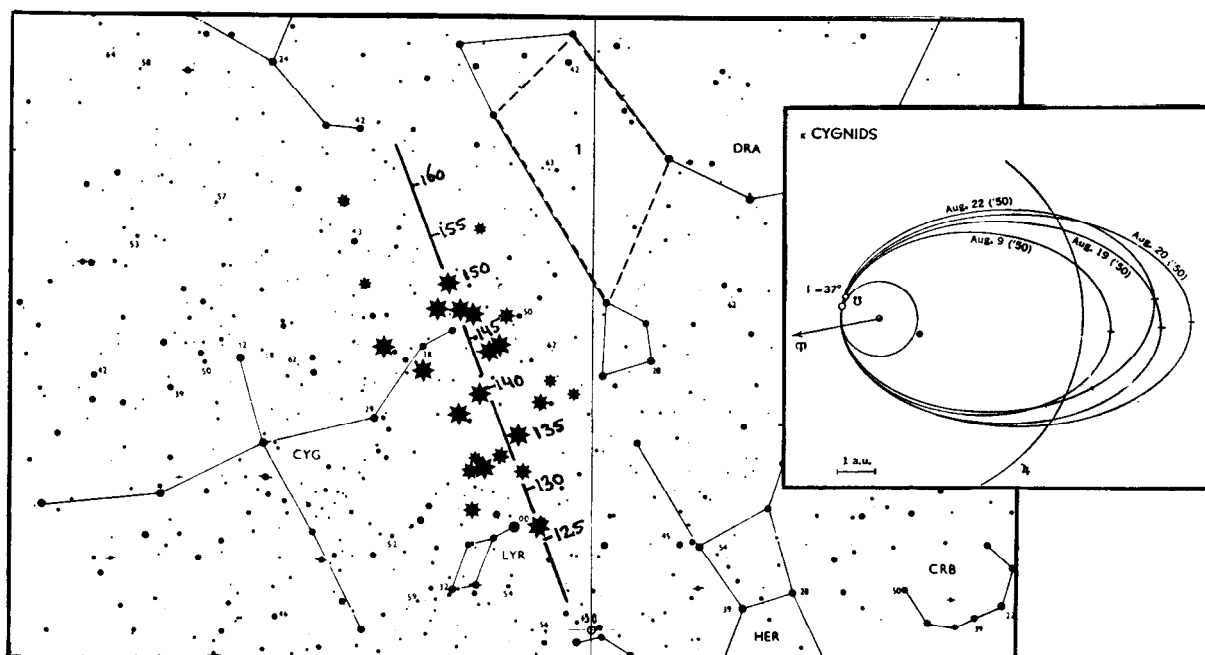


Geschiedenis

Een zwerm die in de jaren '50 bekend was onder de naam "Kappa-Cygniden", werd door Whipple terug gevonden in een lijst van gefotografeerde meteoren. De baan was typisch voor een kort-periodieke komeet met hoge inclinatie. "Mogelijk", zo schreef Whipple, "is de zwerm het restant van een grote komeet" (ref. 1). Al in de vorige eeuw zijn door visuele waarnemers tientallen radianten opgetekend in de sterrenbeelden Zwaan en Lier. Heis (ref. 2) vond o.a. radianten bij RA=278, DEC=36 tussen 26 en 29 juli, bij RA=286, DEC=48 tussen 28 juli en 2 augustus, bij RA=294, DEC=+44 tussen 3 en 30 augustus (δ -Cygn.) en bij RA=295, DEC=54 tussen 3 en 21 augustus (θ -Cygniden).

Verschijsning

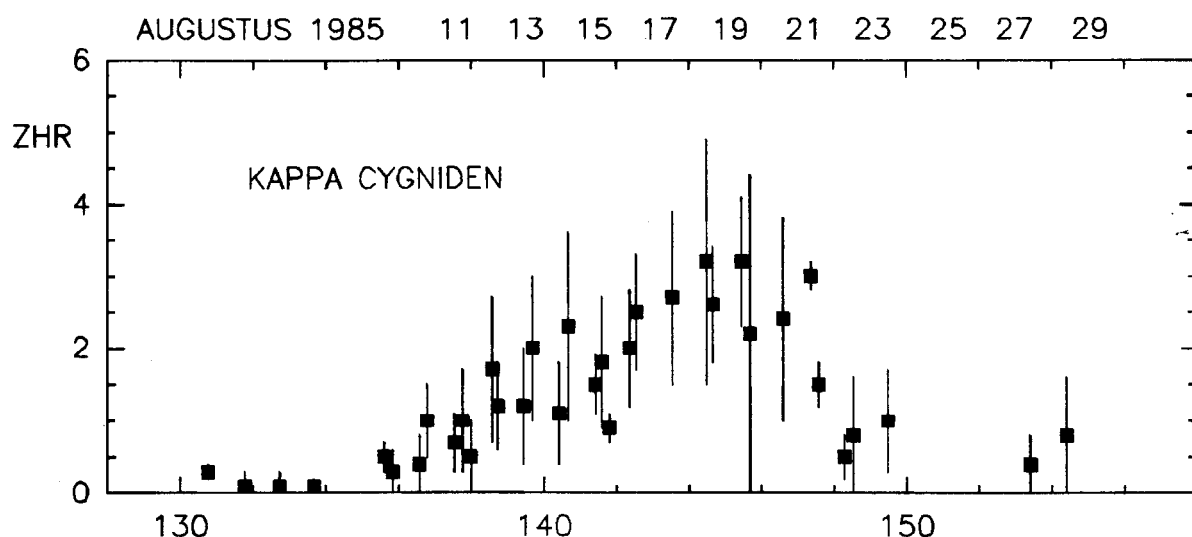
κ -Cygniden zijn traag: $V_{\infty} = 26 \pm 2$ km/s en daardoor goed herkenbaar. De radiant is zeer uitgestrekt, begin augustus in de Lier, net boven Wega, en tijdens het "maximum" rond 18 augustus in de vleugel van de Zwaan. Waarschijnlijke en mogelijke κ -Cygniden die ooit zijn gefotografeerd (uit referenties 3-7) zijn in onderstaande figuur ingetekend in een Tsjechische sterrenkaart. Voor tien banen met $3.1 < a < 4.9$, $0.69 < e < 0.80$, $0.956 < q < 0.99$, $31 < i < 41$ en $199 < \omega < 210$ vond ik dat voor zonslengte 145 de radiant gemiddeld ligt bij RA=288.5, DEC=51.7 en dat $\Delta RA = 0.60$ °/dag, $\Delta DEC = 0.30$ °/dag.



De zwerm is bekend vanwege haar heldere meteoren, maar de meteoren zijn gemiddeld niet uitzonderlijk helder. Veltman vond absolute magnituden van 2.43 ± 0.31 (1984), 2.20 ± 0.08 (1985) en 2.59 ± 0.1 (1986) en een r-waarde van 2.4, iets helderder dan de Perseïden (ref. 8-10). Gefotografeerde κ -Cygniden hebben een typisch uiterlijk: vaak neemt de helderheid op 2/3 van het traject plotseling toe. In 1984 had maar 1 van de 29 waargenomen zwermmeteoren een nalichtend spoor.

Aktiviteit

Uit DMS waarnemingen werd door Rudolf Veltman onderstaande ZHRs berekend. De zwerm is actief tussen 9 en 24 augustus. κ -Cygniden zijn gefotografeerd vanaf 28 juli. Misschien zijn meteoren vóór 9 augustus niet als κ -Cygniden herkend. Na 24 augustus neemt ook fotografisch de aktiviteit snel af.



Referenties

1. Denning W.F.; Mem. of the B.A.A. 53 (1899) 203
2. Whipple F.L.; Astron. J. 59 (1954) 201
3. McCrosky R.E., Posen A.; Smits. Contr. to Astroph. 4 (1961) 15
4. Babadjanov P.D., Kramer E.N.; Smits. Contr. to Astroph. 11 (1965) 67
5. Ochiai T.; WGN 13 (1985) 88
6. Cepuleha Z., Jezková M., Novák M., Rajchl J., Sehnal L.; B.A.C. 15 (1964) 144
7. Cepuleha Z.; B.A.C. 9 (1958) 225
8. Veltman R.; Radiant 6 (1984) 120
9. Veltman R.; Radiant 8 (1986) 62
10. Veltman R.; Radiant 9 (1987) 63



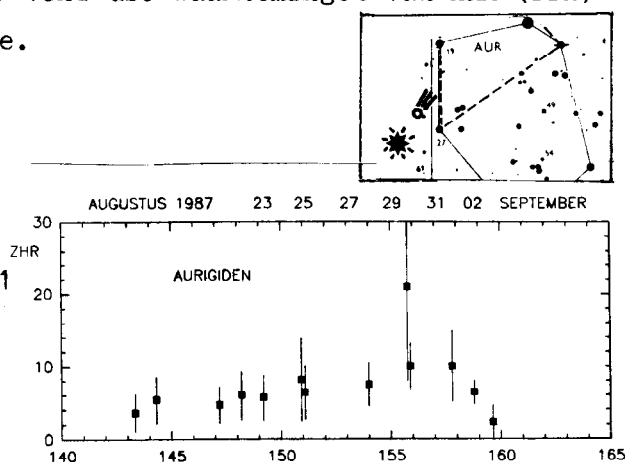
Geschiedenis Op 1 september 1935 is deze zwerm ontdekt, toen door A. Tuchgraeber gedurende één uur een vlaag van Aurigiden werd gezien met een maximum ZHR van 30 (ref. 1). De zwerm werd daarop in verband gebracht met komeet P/Kiess 1911 II, die enkele nachten met het blote oog te zien was (ref. 2,3). De komeet is lang periodiek ($e=0.995541$) met een omlooptijd van 1903 jaar. De wolk meteoroiden die nu af en toe zorgt voor een kleine sterrenregen, heeft in ieder geval een kortere periode. Op 1 september 1986 werd namelijk opnieuw een vlaag Aurigiden gezien door de Hongaar I. Tepliczky (ref. 4,5). Dit jaar was er een scherp maximum bij zonslengte 157.82 en waren gedurende 1.4 uur 24 heldere meteoren te zien. De gemiddelde ZHR was 40 ± 8 , de maximale ZHR over 10 minuten was 75 ± 30 (ref. 6). Het stof dat in 1911 bij de passage langs de zon is vrijgekomen gaat mogelijk elke 25 jaar rond de zon: 1911, 1935 en 1986 passen in een periode van minimaal 25 jaar.

Verschijsning De meteoren zijn zeer snel. Tijdens de vlaag in 1986 waren de meteoren gemiddeld erg helder, $\langle m \rangle = +0.54$, en de magnituden distributie was -4 (flare)/1, -1/5, 0/7, 1/3, 2/6, 3/1 en 4/1. De meteoren waren "helder geel van kleur en lieten alle een nalichtend spoor na dat 1-3 seconden te zien was". De radiant lag bij RA=94.0, DEC=+36.4. In 1935 werd de radiant bepaald bij RA=84.6, DEC=42.0 (equinox 1900?). De komeet heeft een theoretisch maximum bij zonslengte 158.6 met een radiant bij RA = 91, DEC = +39, $V_{\infty} = 66$ km/s. De Aarde passeert de komeetbaan op slechts 0.01 AE (ref. 7).

Aktiviteit Buiten de blijkbaar regelmatig terugkerende "regens" is de zwerm maar matig actief. De radiant komt pas later in de nacht boven de horizon. Jürgen Rendtel (ref. 1) vond uit waarnemingen van AKM (DDR) in 1986 en 1987 de nevenstaande ZHR kromme.

Referenties

1. J. Rendtel MM 82 en MM 85 (1987)
2. Lindsey L.; Astron. J. 42 (1932) 116
3. Porter J.; Mem. of the B.A.A. 39 1961 1
4. Tepliczky I.; WGN 9 (1987) 28
5. Jenniskens P.; Radiant 9 (1987) 56
6. Drummond J.D.; ICARUS 47 (1981) 500



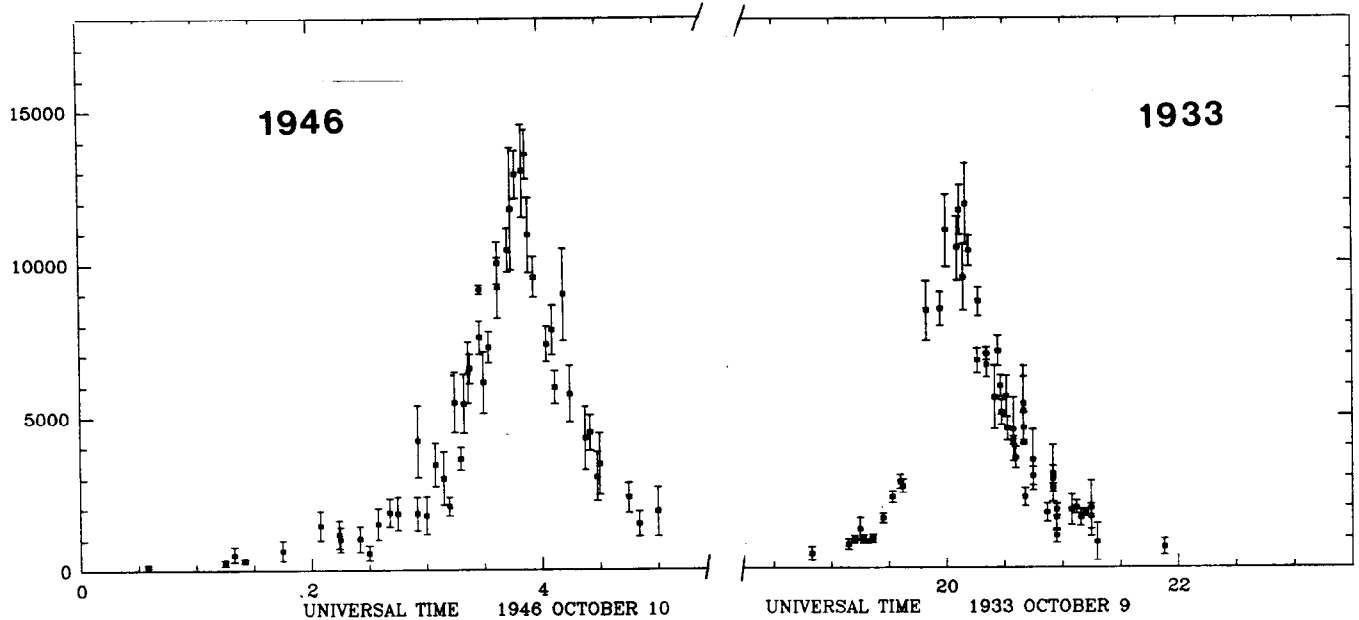


Geschiedenis

Op 27 november 1898 kwam komeet P/Giacobini-Zinner tot op 0.19 AE bij Jupiter. De aantrekkings kracht van deze machtige planeet veranderde de baan van de komeet. De kortste afstand komeet-Zon werd van 1.22 AE (buiten de Aardbaan) tot slechts 0.93 AE. Op 20 december 1900 werd door M. Giacobini op de sterrewacht an Nice een komeet van magnitude 10 ontdekt. De baan bleef onzeker door onvoldoende waarnemingen en het was E. Zinner die op 23 oktober 1913 de komeet terug vond. Komeet 1900 III bleek een korte periode van $6\frac{1}{2}$ jaar te hebben. Sindsdien is de komeet o.a. bezocht door de Amerikaanse sateliet ISEE-3 (ICE). De kern van de komeet zou sterk afgeplat zijn en 2.5×0.3 km meten en zou roteren in 1.66 uur. Tot 1959 draaide de kern prograad, daarna retrograad (ref. 1).

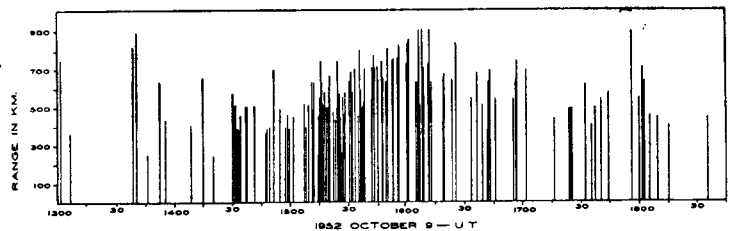
Door de baanwijziging in 1898 kwam de komeet voldoende dicht bij de Aardbaan om haar afval in botsing te laten komen met de Aarde. In 1913 zag de engelsman W.F. Denning de eerste Draconiden. Als zodanig werden ze waarschijnlijk pas herkend toen Davidson in 1915 meteor aktiviteit van komeet 1900 III voosprelde (ref. 2). De kleinste afstand Aardbaan-komeetbaan (Δ) was toen nog 0.018 AE. Ook in 1920 zag Denning Draconiden, vijf stuks, komend van RA=268, DEC=53. Δ was toen 0.014 AE en de theoretische radiant lag bij RA=262.1, DEC=53.4. In 1926 zag J.P.M. Prentice uit Engeland in de avond van de 9e oktober vijf trage meteor en in 40 minuten tijd uit een radiant bij ν -Draconis (RA=263, DEC=55). De afstand Aardbaan-komeetbaan was inmiddels afgenomen tot slechts 0.0005 AE. De uurfrequentie dat jaar was 17 (ref. 2).

In de vroege avond van 9 oktober 1933 werd boven West-Europa een schitterende sterrenregen waargenomen. Tot de vele Nederlandse waarnemers hoorden o.a. J.H. Oort en A. de Sitter. De regen duurde $4\frac{1}{2}$ uur en de ZHR was ongeveer 11000 tijdens het maximum om 20^h03^m UT (zonslengte 196.299). Daarna bleef het weer rustig tot in 1946. Ondanks een storende maan zat nu iedereen klaar om de regen te kunnen zien en duizenden mensen in de V.S. en West Europa werden op een aanzienlijke storm getraceerd. Een project voor simultaan fotografie door de sterrewacht van Harvard ging helaas niet door door plaatselijke bewolking. De meteor en bleken gemiddeld aan de zwakke kant: $r=3.0 \pm 0.3$. De ZHR was 13000



rond 03^h50^m UT (296.296) en de storm duurde weer 4-5 uur. Rudolf Veltman bekeek de oude resultaten kritisch en berekende bovenstaande ZHRs (ref. 2).

In 1952 waren de omstandigheden minder gunstig: de Aarde zat aan de verkeerde kant van de zon toen de komeet de Aardbaan passeerde. 193 dagen daarvoor was de Aarde dit punt al gepasseerd. Vanuit Jodrell-Bank werd met radar een gering aktiviteit gemeten (zie nevenstaande figuur). De uit de radar waarnemingen afgeleide ZHR was 180. In 1953 werd niets gemeten. In de V.S. werden drie mogelijke Draconiden simultaan gefotografeerd (1953,1952):



datum	RA	DEC	V_{∞}	e	q	ω	Ω	i
9.19-10-1953	270.9	47.2	20.20	0.704	0.998	177.0	195.5	24.6
9.23-10-1953	270.8	47.3	20.11	0.697	0.998	176.9	195.6	24.6
20 - 9-1952	258.3	50.6	19.30	0.572	1.002	174.4	177.3	24.3

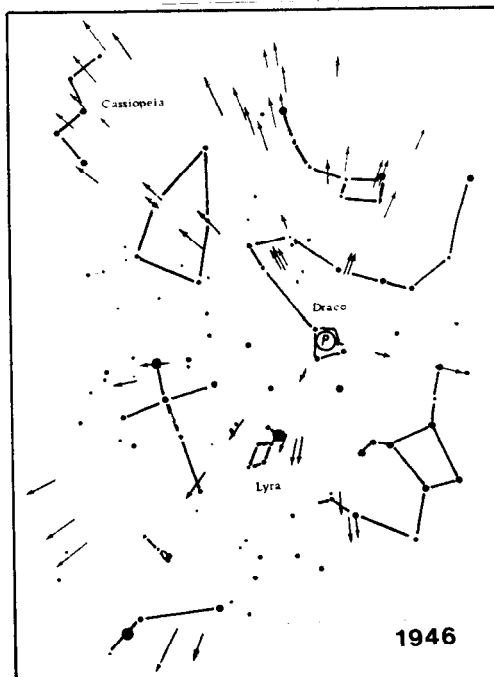
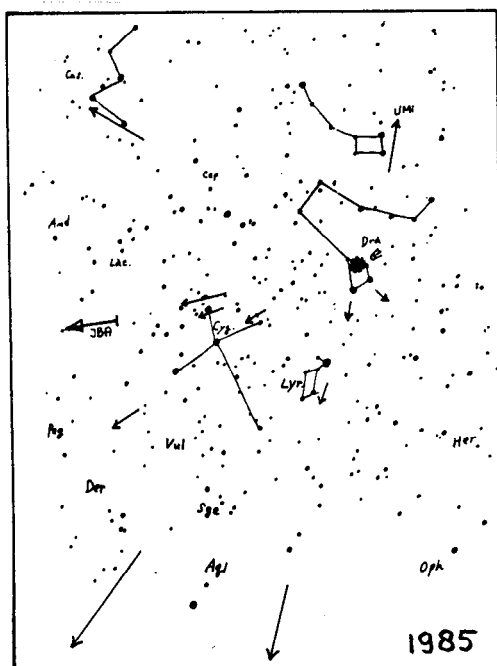
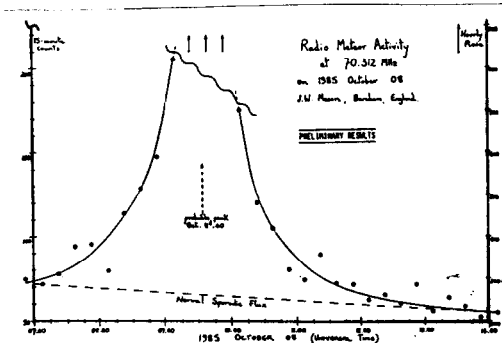
In 1956 en 1957 stoorde Jupiter de komeet weer, in het nadeel van de Aardse meteor waarnemers. Δ nam toe tot 0.060 AE. In 1959 en 1966 werden geen Draconiden opgemerkt. In 1969 was er opnieuw een flinke verandering van de baan. Deze keer nam Δ af en wel tot 0.0007 AE in 1972. Bovendien passeerde de Aarde dit bijna-snijpunt maar 58.5 dagen na de komeet. Grote aktie! Weinig

resultaat... Met de Sheffield radar werd geen scherpe piek in de activiteit opgemerkt, hooguit een flauw maximum met een hoogste uurfrequentie van 23 ± 5 . Het ontbreken van activiteit werd geweten aan het feit dat de Aarde de komeet dit jaar buiten om passeerde. Het stof zou vooral aan de binnenkant van de komeetbaan zitten. In 1978 zat de Aarde weer net aan de verkeerde kant van de zon. Zo'n afwisselende gunstige en niet-gunstige ontmoeting komt door de " $\frac{1}{2}$ " in de grootte van de omlooptijd: $6\frac{1}{2}$ jaar. Grote activiteit bleef uit.

In 1985 was Δ toegenomen tot 0.0329 AE. De Aarde passeerde de komeet echter aan de binnenkant, hetgeen zekere verwachtingen wekte. De regen zou te zien zijn vanaf de noordelijke Stille Oceaan en Japan. Dat jaar verscheen er inderdaad een behoorlijke regen bij zonslengte 194.568 (ref. 5,6,7). Deze werd door J.W. Mason uit Engeland met radar

gevolgd. Nevenstaande figuur laat zien hoe de activiteit toe en afnam. Op het maximum waren er zoveel signalen, dat deze op de recorder strook elkaar overlaptten. In Japan is een grote groep actieve waarnemers, waarvan velen het maximum helaas gemist hebben. Dat maximum viel al in het einde van de avond schemering, $3\frac{1}{2}$ uur eerder dan voorspeld! De ZHR nam daarna af van 300 rond 9^{h35^m} UT tot 10 rond 12^{h45^m} UT (ref. 8). De meteoren waren

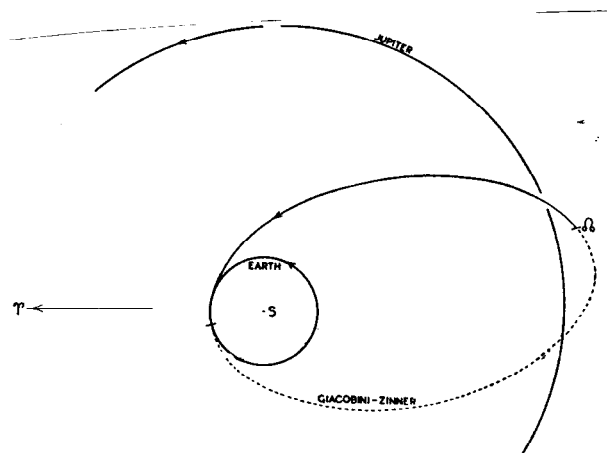
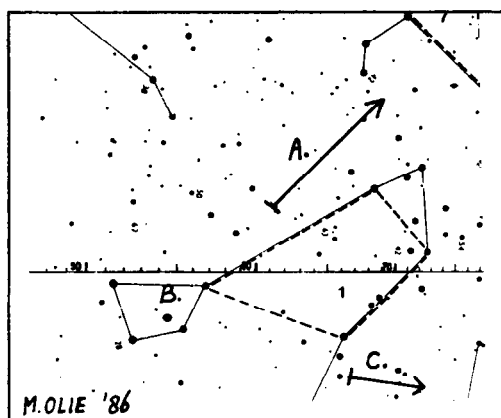
niet uitzonderlijk zwak: $r = 2.2-2.7$. Enkelvoudig gefotografeerde meteoren gaven een radiant bij $RA=262.43$, $DEC=+55.79$. Visueel werd een radiant bepaald



bij RA=265, DEC=+55. De voorspelde radiant lag bij RA=260.63, DEC=57.09. In 1986 werden ondanks goede waarnemingen maar weinig Draconiden gezien. Frank Witte zag telescopisch 12 Draconiden uit RA=261.3, DEC=53.8 (ref. 9).

Verschijsning De meteoren komen uit de kop van het sterrenbeeld Draak. De meteoren zijn opmerkelijk traag: $V_{\infty} = 20$ km/s. Uit de twee gefotografeerde meteoren werd afgeleid dat Draconiden de meest brosse meteoroiden zijn die er bestaan. Ze begonnen al op te lichten bij 90 km hoogte, extreem hoog gezien hun lage snelheid. De meteoren hebben een onregelmatig helderheidsverloop en regelmatig (kleine) flares: voortdurend springen er kleine stukjes af (**fragmentatie**).

Aktiviteit In de jaren dat de komeet niet in de buurt van de Aarde is, is er weinig tot niets te zien van deze zwerm. Bij een komeet passage zijn 0-2 meteoren per uur te zien, met uitzondering van een korte periode van 4-6 uur waarin de activiteit zeer hoog kan oplopen. Tijdstip van het maximum en de activiteit blijken moeilijk te voorspellen.



- Referenties**
1. Bouma R.; Radiant 7 (1985) 82
 2. Lovell A.C.B.; Meteor Astronomy (Oxford, 1954) Hfst.16, p326
 3. Weston P.J.; J. Britt. Astron. Ass. 96 (1986) 118
 4. Veltman R., Jenniskens P.; Radiant 7 (1985) 107
 5. Betlem H., Jenniskens P.; Radiant 7 (1985) 133
 6. Nakano S.; IAU-circular 4120
 7. Nagasawa K.; IAU-circular 4126
 8. Jenniskens P.; Radiant 8 (1986) 76
 9. Witte F.; Radiant 9 (1987) 9
 10. Katasev L.A.; Photographic Methods in Meteor Astronomy (Jerusalem, 1964)
 11. Davies J.G.; Meteors (ed. T.K. Kaiser) (Londen, 1955) p. 177

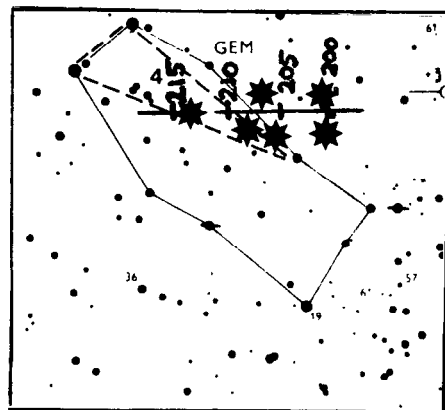
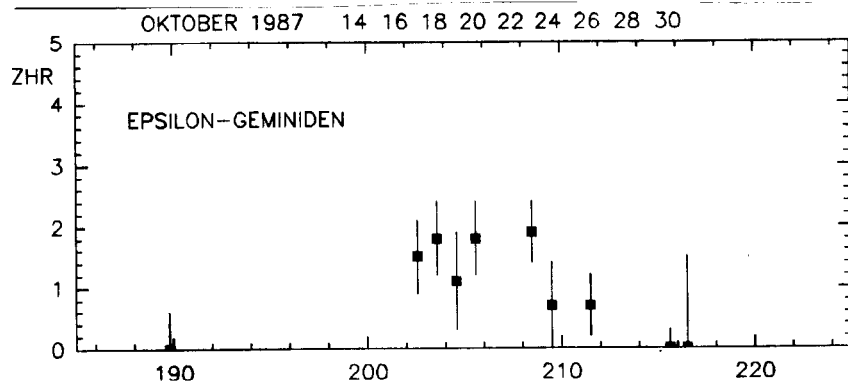
EPSILON GEMINIDEN (20 oktober)



Geschiedenis De zwerm is in 1959 ontdekt door R.E. McCrosky en A. Posen in lijsten van gefotografeerde meteoren. In 1964 verscheen komeet P/Ikeya en in 1987 komeet P/Nishikawa-Takamizawa-Tago. De ϵ -Geminiden kunnen van beide afkomstig zijn. Volgens D. Olsson-Steel heeft de laatste komeet de beste papieren (ref. 1). In 1987 hield men rekening met een mogelijke sterrenregen. Er werd niets bijzonders waargenomen. Komeet 1964 VIII (ref. 2) is waarschijnlijk een oude komeet die alle tijd heeft gehad om stof los te laten.

	RA	DEC	V_{∞}	maximum	Δ
ϵ -Geminiden	102.8	+27.7	70	14-27 oktober	
P/Ikeya 1964 VIII	107	+27	70	23 oktober	0.12
P/N.T.T. 1987c	93	+28	71.8	7 oktober?	0.05

Verschijsning De zwerm bestaat, maar is nauwelijks actief en moeilijk te onderscheiden van de Orioniden. De radiant ligt maar 10 graden noord-oostelijk van de Orioniden radiant. Bovendien lijken de meteoren ook in uiterlijk sterk op de Orioniden. Ze zijn zeer snel, $V_{\infty}=70$ km/s, en gemiddeld vrij zwak: $r = 3.0 \pm 0.2$ (ref. 3,4). De radiant ligt op 20 oktober (206) bij RA=102.8, DEC=+27.7 en beweegt met 0.7 ± 0.2 (RA) en -0.1 ± 0.2 (DEC) graden per dag. De ZHR's zijn berekend uit DMS en AKM data uit 1987 (ref. 4,6).



1. McCrosky R.E., Posen A.J.; Astron. J. 64 (1959) 25
2. Marsden B.G., Sekanina Z., Everhart E.; Astron. J. 83 (1978) 64
3. Olsson-Steel D.; Radiant 9 (1987) 89
4. Rendtel J.; MM-86
5. Znojil V.; B.A.C. 19 (1968) 306
6. Jenniskens P., Veltman R.; Radiant 9 (1987) 106



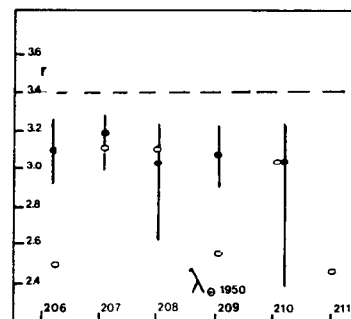
Geschiedenis De Orioniden krijgen van oudsher veel aandacht. Het is één van de meest actieve zwermen aan het noordelijk halfrond en bovendien wordt de zwerm geassocieerd met de beroemde komeet P/Halley. Eind vorige eeuw en begin deze eeuw was de zwerm ook het schoolvoorbeeld van een zogenaamde **stationaire radiant**. Dit betekent dat de radiant geen dagelijkse beweging vertoont. Later vond men dat de Orioniden zwerm uit subzwermen, filamenten of schillen lijkt te bestaan die elk afzonderlijk een verschuivende radiant hebben, maar door om beurten te pieken een gemiddelde radiant geven die niet of nauwelijks verschuift (ref.1).

Er bestaan historische vermeldingen van sterrenregens in de periode die nu eind oktober valt. Omstreeks 800 kruiste de baan van komeet P/Halley de Aardbaan ter hoogte van de Orioniden. Op 26 september 288 (zonslengte 207) "vielen sterren als regen". Op 3 oktober 1465 (206) werd in Japan gezien dat rond middernacht meteoren vielen van noord-oost naar zuid-west. Op 14 oktober 1651 (205) was het nieuwe maan. "Om middernacht vielen sterren als regen". Een andere bron meldt als datum 15 oktober 1651 (206). Andere verschijningen waren op 23 september 585 (201), 25 sept. 930 (201), 2 oktober 1436 (205) en 5 oktober 1465 (208), maar hier kan het gaan om gewone zwerm activiteit (ref. 2,3). Opmerkelijk is het ontbreken van regens in de periode rond 800. De richting "noord-oost naar zuid-west" sluit uit dat het in de Japanse waarneming om Orioniden gaat. Misschien was er in die periode een andere zwerm actief die ook de overige regens veroorzaakte.

Meteoor waarnemingen in 1983-1987 hebben laten zien dat de ZHR van Orioniden en Eta-Aquariden niet toeneemt wanneer de komeet in de buurt van de Aarde komt (ref. 4). Daarop werd uit modelberekeningen gevonden dat de terugkeer van komeet P/Halley bij het perihelium tegenwoordig geen verhoging meer kan geven in de activiteit van de Orioniden en haar tweeling zwerm de Eta-Aquariden: de baan van P/Halley en die van de Orioniden verschilt teveel om via storingen door Jupiter bijvoorbeeld, het verse materiaal voldoende snel in een met de Aardbaan snijdende baan te brengen. Voor die tijd is het materiaal al verspreid en heeft zich vermengd met de rest van de zwerm (ref. 5).

Verschijsning De meteoren zijn zeer snel, $V_{\infty}=66$ km/s, en gemiddeld vrij zwak.

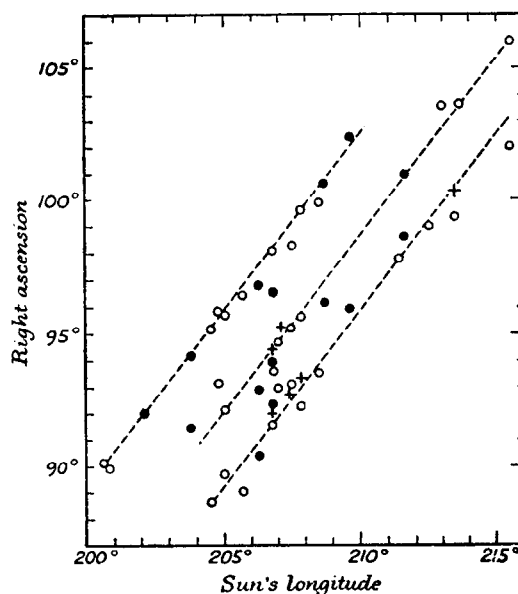
Er verschijnt maar zelden een Orionide helderder dan -2, wat de zwerm een lastige maakt voor meteor fotografie. r is 3.1 ± 0.1 te zijn, zowel voor visuele meteoren als voor de zwakkere telescopische meteoren (ref. 6,7). Nevenstaande figuur laat zien dat r , bepaald uit N_0/N_s , nauwelijks veranderd over de zwerm periode (ref.6).



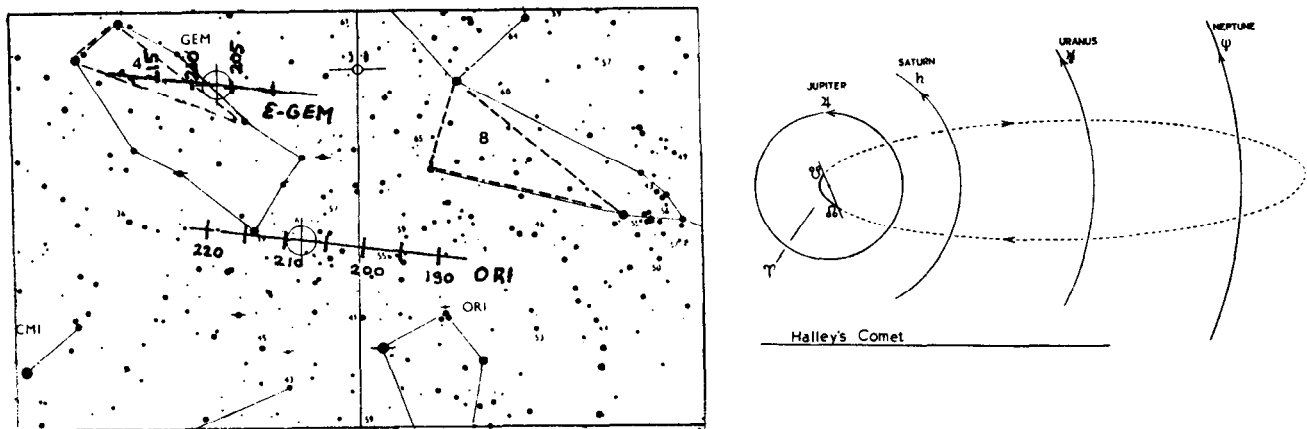
Ongeveer $24 \pm 3\%$ van de Orioniden laat een nalichtend spoor na. De sporen duren gemiddeld 1.2 seconden, iets langer dan voor sporadische meteoren (0.9 s). Soms worden lang durende sporen gemeld (23 seconden voor een -3 Orioniden, ref. 8). De gemiddelde duur van de nalichtende sporen voor verschillende magnituden werd in 1985 voor DMS waarnemingen gevonden: $\log\langle t \rangle = 0.21 - 0.079 m_v$ (ref. 9). Een -6 Orionide laat een spoor na dat gemiddeld 5 seconden duurt. In 1984 werd uit Australische waarnemingen afgeleid dat de snelle Orioniden, evenals de Eta-Aquariden, sneller in activiteit toenemen naarmate de radiant stijgt, dan een correctie met $\gamma=1$ doet vermoeden. γ is dus groter dan 1 voor deze zwermen (ref.10). 30-40% van de Orioniden is geel van kleur, 5-10% blauw.

De gefotografeerde en met radar waargenomen Orioniden komen van $RA=94.5$, $DEC=15.6$ bij zonslengte 208 en de radiant verschuift met 0.63 ± 0.07 in RA en 0.1 ± 0.1 graden in DEC. Vooral de declinatie blijkt van moment tot moment met een graad te kunnen variëren (ref. 11). Jones vond ook dat de spreiding in de radiant minder wordt van zonslengte 206 tot 212: van 1 graad tot 0.8 graden. Prentice (ref.1) deed in de jaren '30 een analyse van een groot aantal visueel waargenomen radiant posities en kwam tot de conclusie dat de zwerm bestaat uit een aantal subzwermen die achtereenvolgens actief zijn. Hij maakte onderscheid tussen:

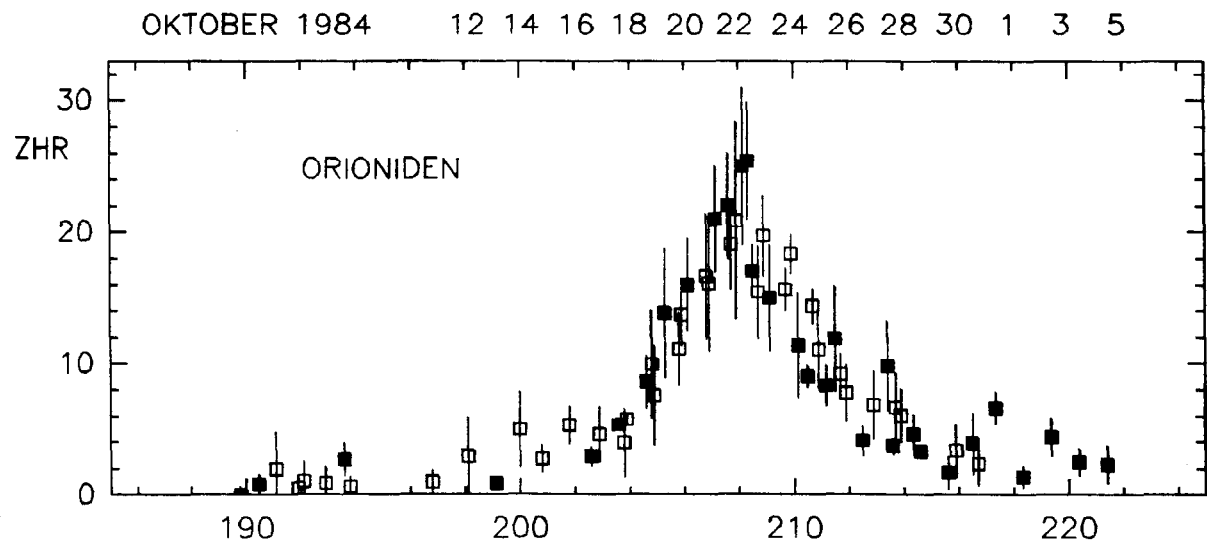
	RA	DEC	ΔRA	periode
Leading stream	98.1	+14.9	1.30	204-210
Mid-stream	94.4	+15.5	1.34	204-211
Following stream	91.7	+15.1	1.22	206-212
Northern stream	97.8	+18.2	0.92	?



Alleen met zeer goede intekeningen of telescopische waarnemingen is zo'n structuur van subzwermen misschien te verifiëren. Onderstaande figuur toont het verloop van de fotografisch en met radar gevonden radiantbeweging.



Aktiviteit Doordat de meteoren gemiddeld zwak zijn, zijn alleen bij een goed doorzichtige en donkere lucht veel Orioniden te zien. De radiant komt pas in de loop van de nacht op. Vóór middernacht zijn er geen Orioniden te zien! De visuele activiteit piekt in de nacht van 21/22 oktober, maar de activiteit is nauwelijks minder tussen 19 en 25 oktober. Het ZHR profiel is dan ook zeer breed. Onderstaande figuur is het resultaat van DMS waarnemingen uit 1984, 1985 en 1987 (ref. 6, 9 en 12; zwarte blokjes) en NAPO-MS waarnemingen uit 1984 en 1985 (ref. 10). De eerste Orioniden verschijnen rond 13 oktober. Na 17 oktober neemt de ZHR snel toe en vertoont na 22 oktober een plateau net als de Eta-Aquariden. De zwerm is nog actief tot in de eerste week van november. Let er dan wel op dat de Orioniden radiant inmiddels onder het sterrenbeeld Gemini te vinden is!

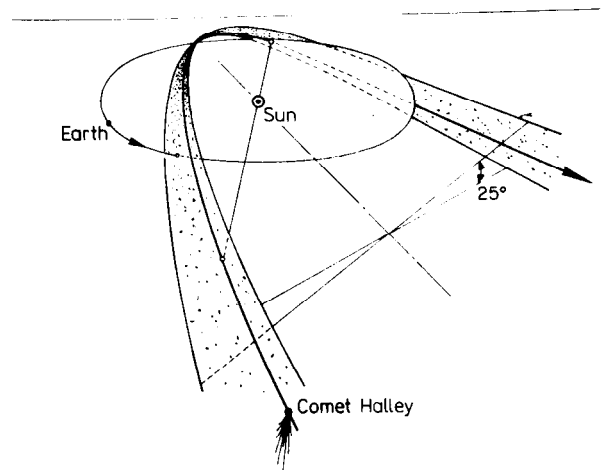


Door het vergelijken van waarnemingen met twee radarsystemen op verschillende plaatsen op Aarde, vond Hajduk dat de zwerm een aantal submaxima heeft die ook te zien zijn in de aktiviteit van de tweeling zwerm van de Orioniden, de Eta-Aquariden zwerm. De submaxima die elk jaar terugkomen zitten bij zonslengten 203 (50), 207 (46), 209 (44), 213 (41) en 215 (38). Hij vond bovendien sommige andere submaxima die niet bij constante zonslengte blijven, maar over een periode van 5-10 jaar van plaats verschuiven: met 0.3-0.9 graden/jaar (ref.4).

Evolutie De huidige baan van komeet P/Halley ligt ver van de Orioniden zwerm vandaan en vrij ver van de Eta-Aquariden zwerm. De afstand Aardbaan-komeetbaan is 0.154 AE in oktober en 0.065 AE in mei. Normaal is bij afstanden groter dan zo'n 0.08 AE geen meteoroor aktiviteit meer merkbaar. Verder is opmerkelijk dat de breedte van de aktiviteits kromme van beide zwermen vrijwel gelijk is. Zie bij het hoofdstukje "Eta-Aquariden" hoe de Aarde door de komeetzwerm trekt: wanneer de stofdeeltjes symmetrisch rond de baan van de komeet verspreid zouden zijn, dan zouden de aktiviteits perioden van beide zwermen zich moeten verhouden als 1:3.

McIntosh en Hajduk kwamen daarop in 1983 met een "schilmodel" voor de zwerm. Uit baanberekeningen van de komeet blijkt dat Jupiter de baan stoort en wel zo dat de baan op en neer lijkt te bewegen tussen twee uitersten. Daarbij verandert de inclinatie een beetje en draait het baanvlak rond de grote lange as. Eén zo'n cyclus duurt zo'n 300 omlopen, ongeveer

23000 jaar. Wanneer nu de komeet voortdurend tijdens de perihelium passages stof loslaat, dan zal dat stof zich niet langs één baan verspreiden, zal zich verdelen in de vorm van een stuk van een schil. Bovenstaande figuur (uit ref. 13) laat dit zien. Bovendien blijft tijdens de beweging van de komeet in zo'n cyclus de verstoring doorgaan. Dat zorgt er niet alleen voor dat de schil breder (een gordel) wordt, maar ook komt de nieuwe schil van een volgende cyclus op een iets andere plaats dan de oude. En dat allemaal door de storing van Jupiter. Wanneer nu de Aarde door die schil trekt, dan maakt het voor de wijdte van de zwerm niet uit of dat ver of minder ver van de huidige komeetbaan gebeurt: de wijdte van de zwerm blijft gelijk.



Bij de passage door de schil komt de Aarde achtereenvolgens het materiaal tegen dat bij verschillende cycli is losgelaten. Het meest recente materiaal zou zitten bij zonslengte 203. Dit idee lijkt bevestigd te worden door telescopische waarnemingen. Rond 202 werd gevonden dat r verschillend is voor visuele en telescopische meteoren. Dat is niet het geval voor het hoofdmaximum; rond 208 is r juist erg constant over een groot magnitude bereik. In de gordel bij 202 zitten nog vrij verse kleine deeltjes (ref. 14).

De extra submaxima moeten het gevolg zijn van banen van verschillende cycli die door elkaar gaan lopen. Een aantal banen die dezelfde klimmende knoop hebben komen op hetzelfde punt bij de Aarde aan en vormen een "filament". Maar zulke banen van verschillende cycli hebben verschillende omlooptijden. Dat zorgt ervoor dat zo'n filament altijd maar een beperkte lengte heeft en verschuift met de zonslengte zoals wordt waargenomen. Er zijn vijf submaxima in de zwerm. Dat zou betekenen dat er minstens vijf cycli waren tot dusver. De zwerm zou wanneer het schilmodel van McIntosh en Hajduk klopt, al meer dan 10.000 jaar oud zijn! De totale massa in de zwerm is ongeveer 5×10^{14} kg, meer dan de komeet op dit moment weegt, zodat volgens McIntosh and Hajduk P/Halley misschien aan zijn laatste cyclus toe is. Dat lijkt niet onwaarschijnlijk: met de huidige belangstelling voor de komeet zullen mogelijk duizenden toeristen in 2062 de komeet bezoeken en elk een stukje mee naar huis willen nemen.

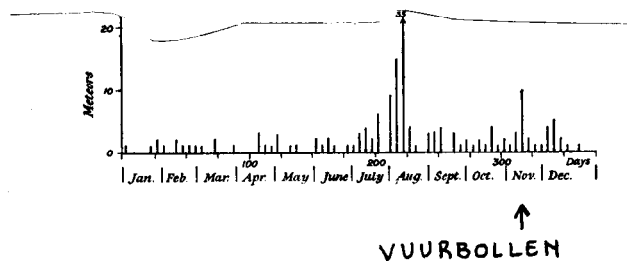
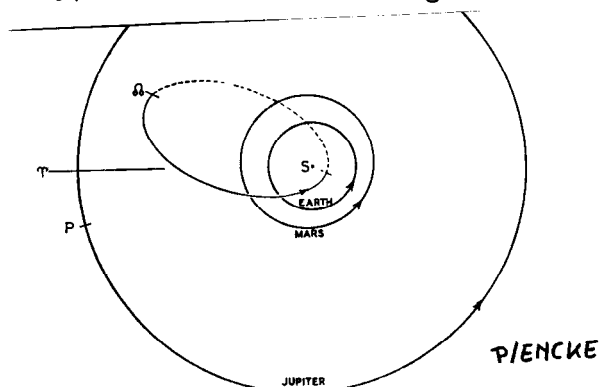
Referenties

1. Lovell A.C.B.; Meteor Astronomy (Oxford, 1958) hfdst. 15
2. Zhuang Tian-shan; Chinese Astronomy 1 (1977) 197
3. Imoto S.; Hasegawa I.; Smits. Contr. to Astroph. 2 (1957) 131
4. Jenniskens P.; Radiant 9 (1987) 8
5. Babadzhanov P.B., Obrubov J.V., Poshkarev A.N., Hajduk A.; BAC. 38 (1987) 367
6. Veltman R.; Radiant 8 (1986) 34
7. Znojil V.; B.A.C. 19 (1968) 306
8. Wood J.; WAMS Bulletin "The 1981 Orionid Meteor Stream" (1981)
9. Veltman R.; 7 (1985) 11
10. Wood J.; NAP0-MS Bulletin 4 (1982), 51 (1983) 93 (1984), 124 (1985)
11. Jones J.; M.N.R.A.S. 204 (1983) 765
12. Jenniskens P., Veltman R.; Radiant 9 (1987) 106
13. McIntosh B.A., Hajduk A.; M.N.R.A.S. 205 (1983) 931
14. Znojil V., Hajduk A.; B.A.C. 38 (1987) 372



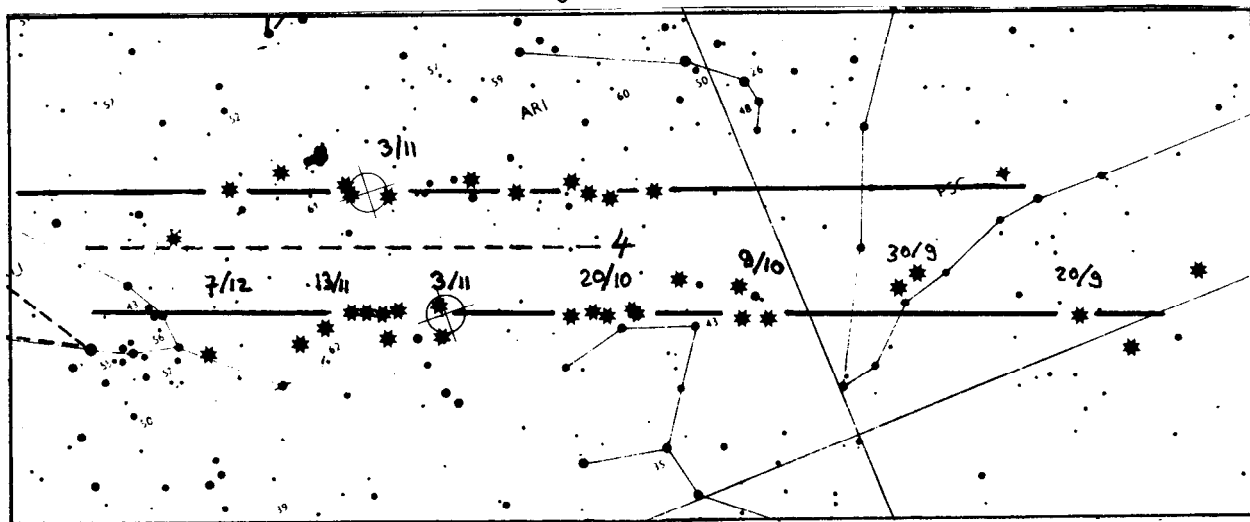
Geschiedenis In de vorige eeuw werden tientallen radianten genoteerd in de sterrenbeelden Vissen, Walvis, Ram en Stier actief in de maanden september tot december. Daarnaast is er de daglicht zwerm de β -Tauriden, actief in juni. Pas met de komst van de fotografie werd gevonden dat een aantal van die radianten hoorden bij één zwerm, de Tauriden. De zwerm ligt vrijwel in het vlak van de planeten zodat ook veel langzame sporadische meteoren uit dit gebied verschijnen. De Tauriden zwerm is echter duidelijk meer geconcentreerd dan bijvoorbeeld de Virginiden (ref. 1). De laatste zwerm bestaat uit de bijdrage van meerdere mogelijk lang vergane kometen (en planetoiden?). De Tauriden zwerm is ontstaan door één komeet: P/Encke 1786 I.

De komeet werd ontdekt door P.F.A. Méchain in Parijs op 17 januari 1786. De komeet was kort met het blote oog te zien. Pas na twee periodes, op 7 november 1795, werd de komeet herontdekt door Caroline Herschel uit Slough, Engeland, met behulp van een 16 cm refractor. J.L. Pons nam de komeet waar op 20 oktober 1805 vanuit Marseille, evenals J.S.G. Huth in Frankfurt/Oder en A. Bouvard in Parijs. J.L. Pons zag de komeet weer op 26 november 1818. Tot op dat moment was het niemand duidelijk dat het hierbij steeds om dezelfde komeet ging. J.F. Encke bewees dat dat zo was en sindsdien draagt deze komeet zijn naam. Sinds 1971 wordt de komeet langs de hele baan waargenomen (ref. 2).



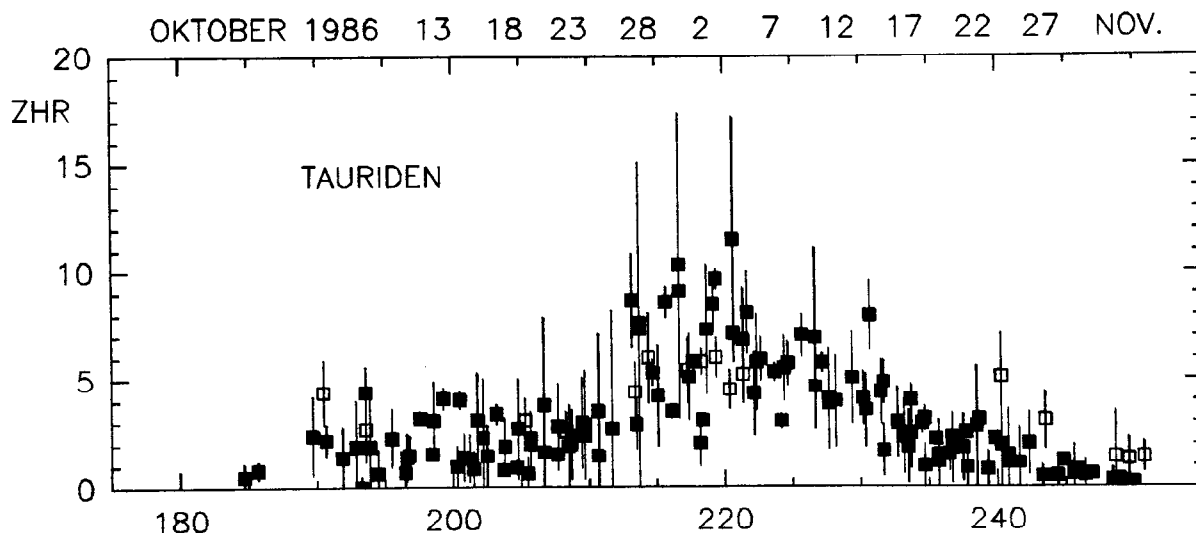
Verschijsning De meteoren zijn langzaam, $V_{\infty} = 31$ km/s. Jeff Wood (ref. 3) berekende m.b.v. de standaard kansfunctie uit Australische waarnemingen de r -waarden: 1980/2.29, 1981/2.55, 1982/2.03, 1983/2.75 en 1985/2.29. De meteoren zijn dus gemiddeld vrij helder. Tauriden met negatieve magnituden lichten soms plotseling op halverwege de baan. Regelmatig verschijnen er heldere vuurbollen van deze zwerm. In een lijst van Von Niessl en Hoffmeister springen de Tauriden eruit (zie de figuur; uit ref. 4). De

meteoren tonen een rijk scala aan kleuren, waarbij vaak de kleur oranje of rood wordt opgemerkt. Jeff Wood vond dat van de meteoren +2 of helderder waren, 43-53% geel was, 5-14% oranje, 2% rood en 2-3% blauw. In de spectra van Tauriden is vaak de NaI lijn (oranje-geel) of de MgI lijn (blauw-violet) het sterkst (ref. 5). 4-8% van de meteoren laat een nalichtend spoor na, dat meestal kort duurt: als een staartje achter de meteor.



De positie en de dagelijkse beweging van de Tauriden radiant is goed te zien in bovenstaande kaart. De sterretjes zijn radianten van simultaan gefotografeerde Tauriden (ref. 6,7). Een rondje met kruis geeft de positie van de radiant op 3 november. Er zijn eigenlijk twee zwermen, de **Tauriden Zuid** en de **Tauriden Noord**. De beide zwermen liggen symmetrisch ten opzichte van het baanvlak van Jupiter. De radiant is minder scherp dan die van sommige andere zwermen en is langs de getrokken lijn tot 2 graden in diameter, loodrecht daarop zo'n 0.5 graden (ref. 8).

Aktiviteit Australische (NAPO-MS) en Nederlands (DMS) waarnemingen uitgevoerd van 1981 tot 1986 zijn verzameld in onderstaande figuur. De eerste Tauriden verschijnen eind september al en komen dan uit het sterrenbeeld Vissen. De Tauriden vertonen een breed "maximum" met een ZHR van 6 rond 3 november. Eind oktober worden soms hoge uurfrequenties gemeld. De zwerm is opvallend tussen 23 oktober en 18 november. Fotografisch hebben de Tauriden-Zuid in dezelfde periode zo'n maximum. De Tauriden-Noord echter laten een flauw verloop in de aktiviteit zien met een "maximum" in de derde week van november. De zuidelijke tak is fotografisch het meeste actief. Visueel is moeilijk te bepalen welke zwerm het actiefste is, omdat de radianten maar 7 graden van elkaar liggen.



Evolutie Komeet P/Encke heeft een kortperiodieke baan en wordt daarom door Jupiter gestoord in zijn beweging. Omdat de baan relatief klein is (periode 3.30 jaar, de korst bekende periode voor een bestaande komeet), is de storing echter niet zeer groot. De evolutie van de zwerm gaat daarom vrij langzaam en P/Encke zowel als de Tauridenzwerm is waarschijnlijk al zeer oud. Jupiter zorgt in de eerste plaats voor een precessie van de baan: de lengte van de klimmende knoop (Ω) verschuift met 0.00171 graden per jaar. Daarnaast blijkt de inclinatie van de baan langzaam te kunnen variëren tussen ongeveer 3 en 23 graden. De spreiding in de banen neemt ook toe: met 0.045 graden per 100 jaar. De brede piek tussen zonslengte 210 en 235 suggereert dus een leeftijd van 56000 jaar. Whipple en Hamid (ref. 6) vonden voor 9 door hun bekeken Tauride banen, dat 4 daarvan 4700 jaar geleden en 3 1400 jaar geleden ongeveer met die van de komeetbaan overeen kwamen. Jones (ref. 9) echter vond dat om het ontstaan van een Noordelijke en Zuidelijke tak te kunnen begrijpen, de zwerm mindstens 100000 jaar oud moest zijn.

1. Porbucan V.; B.A.C. 19 (1968) 327
2. Belyaev N.A., Kresak L., Pittich E.M., Poshkarev A.N.; Catalogue of short-period comets (Bratislava, 1986)
3. Lovell A.C.B.; Meteor Astronomy (Oxford, 1958) blz. 144
4. Millman P.M.; Smits. Contr. to Astroph. 7 (1963) 119
5. Wood J.; NAPO-MS Bulletin/WAMS Bulletin 1980 -1986
6. Whipple F.L., Hamid S.E.; Helwan Observ. Bull. 41 (1952) 1
7. Jacchia L.G., Whipple F.L.; Smits. Contr. to Astroph. 4 (1961) 97
8. Kresak L., Porubcan V.; B.A.C. 21 (1970) 153
9. Jones J.; M.N.R.A.S. 221 (1986) 257



Geschiedenis

Met de Leoniden regen van 13 november 1833 is de meteoren astronomie begonnen. Niet dat dit de eerste regen was die werd opgemerkt en het was zeker niet de eerste Leoniden regen. In 902 schreef een Arabier: "'s-nachts werd een oneindig groot aantal sterren gezien die links en rechts vielen als regen, en dat jaar werd bekend als het jaar van de sterren" (ref. 1). In 902, 934, 967, 1002, 1035, 1101 1202, 1238, 1366, 1532, 1533, 1566, 1601, 1602, 1698 en 1766 waren er Leonidenregens (ref. 1,2,3). De eerste wetenschappelijke beschrijving van een meteor regen gebeurde in 1799 toen Humboldt vanuit Cumana, Zuid-Amerika, "duizenden meteoren en vuurballen zag die evenwijdig aan elkaar van noord naar zuid trokken. Alle meteoren lieten nalichtende sporen na, 8-10 graden lang en 7 tot 8 seconden durend. Er was geen deel van de hemel zo groot als twee maal de diameter van de maan, dat niet elk moment gevuld werd door een meteor of vuurbal"(ref. 4). In 1831 en 1832 waren opnieuw een groot aantal meteoren te zien, maar de regen van 1833 wekte de interesse bij de wetenschap voor het fenomeen van meteoren. De regen werd goed waargenomen in het westen van de Verenigde Staten. De uurfrequentie steeg tot zo'n 50000 (ref. 2). Olivier geeft in zijn boek "Meteors" uit 1925 (ref. 4) een boeiend verslag van de regen en de invloed die zij had op het denken over meteoren.

In 1833 merkten een groot aantal waarnemers op dat de meteoren allen vanuit één punt leken te komen, wat later de "radiant" werd genoemd. Veel waarnemers in de Verenigde Staten hadden de radiant ongeveer in het zenit en dachten dat het het zenit zelf was waar de meteoren uit kwamen. Olmsted (en A.C. Twining) verzamelde veel waarnemingen van deze regen. Hij kwam in die tijd tot een aantal opmerkelijke conclusies. Hij stelde dat de meteoren hun oorsprong buiten de Aardatmosfeer hadden, dat de meteoren naar de Aarde vielen onder invloed van de zwaartekracht, dat de meteoren in rechte lijnen vielen en uit dezelfde richting kwamen en dat meteoren uit een materiaal bestonden dat totaal verbrandde bij hun passage door de atmosfeer van de aarde. Hij stelde ook dat het het nevelachtige lichaam waar de meteoren vandaan kwamen net als de Aarde rond de zon bewoog in een ellipsvormige baan. Op een zeker moment noemde hij dit "nevelachtige lichaam" zelfs "komeet", maar later kwam hij daarop terug en noemde het een "wolk van meteoroiden". Hij was zijn tijd ver

vooruit. Op dat moment was nog nagenoeg niets over meteoren bekend. Hij maakte natuurlijk ook minder juiste opmerkingen. Zo dacht hij dat de meteoren op een hoogte van 2238 mijl oplichtten, dat hun snelheid zo'n 4 mijl per seconde was, dat het aphelium van de baan van de meteoren bij de Aardbaan lag en dat het "nevelachtig lichaam" in een periode van bijna zes maanden om de zon ging. Dat laatste concludeerde hij vanwege de verschijning van eenzelfde soort meteoren in 1832 en ook in 1834, hoewel ze toen minder sterk waren. De hoge oplichthoogte en de andere conclusies die daarmee samenhangen, leidde hij af uit de radiantbepalingen van verschillende waarnemers. Hij dacht dat de verschillen tussen de waarnemers het gevolg waren van een parallax en geen toevallige fouten waren ... (ref. 4).

Vanaf 1833 kwamen de artikelen van Quetelet, van Herrick, van H.A. Newton, J.V. Schiaparelli en anderen. Tussen 1833 en 1866 nam het begrip van meteoren snel toe. De regen van 1799 kwam onder de aandacht en in 1837 schreef Olmsted dat "we misschien moeten wachten tot 1867 voordat dit prachtige spektakel weer terugkeert". Herrick onderzocht oude bronnen en vond dat de periode van de Leoniden inderdaad 33 of 34 jaar moest zijn. In 1863 bewees H.A. Newton dat de zwerm inderdaad een oorsprong buiten de Aarde moest hebben, door te ontdekken dat de Leoniden regens terugkeerden naar de sterren tijd en niet naar de tijd van de seizoenen. Hij vond een periode van maximaal 33.25 jaar en concludeerde dat de Leoniden in ieder geval géén uniforme ring van meteoroiden waren, maar dat er verdichtingen moesten zijn. Overigens geloofde Newton zelf nog in een korte periode van $1 - 1/33.25$ jaar, die ook uiteindelijk één regen in 33.25 jaar oplevert. Zo'n korte periode geeft een hele langzame meteor. In die tijd echter konden de snelheden van meteoren nog niet goed gemeten worden en de tijdsduren werden meestal overschat.

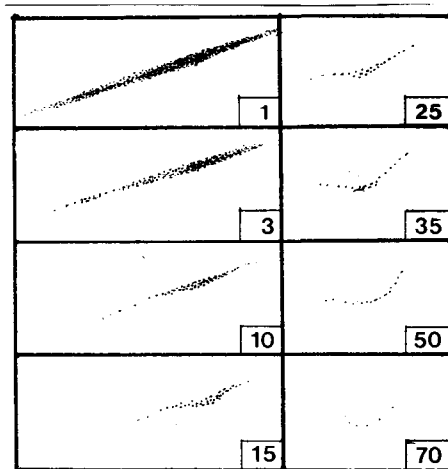
In 1866, 1867 en 1868 werd de zwerm inderdaad weer waargenomen. Yeomans geeft de uurfrequenties 5000, 1000 en 40 voor deze jaren (ref. 2). In 1901 en 1966 waren er ook indrukwekkende regens. De uurfrequentie liep in beide jaren op tot respectievelijk 144000 en 150000. Mooie foto's van de regen van 1966 staan in ref. 5. Ook in 1965 was er al forse aktiviteit (5000) meteoren en zelfs in 1961 en 1969 zijn hoge uurfrequenties gemeld (156 en 140). Yeomans verzamelde alle oude bronnen over de aktiviteit van de zwerm in verschillende jaren. Hij bepaalde daaruit de stofverdeling rond de komeet zoals hiernaast gegeven (uit ref. 2). Horizontaal staat het verschil in tijd (in dagen) tussen de passage

Verschi.jning

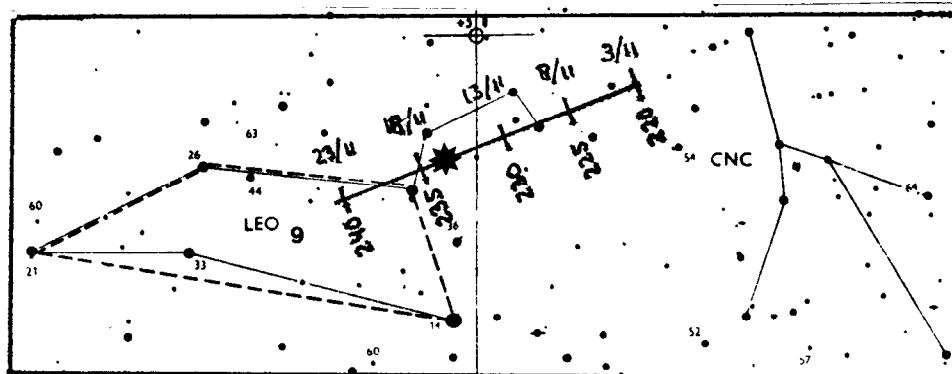
Diagram illustrating the geometry of the Leonids meteor shower. The Earth's orbit is shown as a circle, and the comet's orbit is shown as a large ellipse. The intersection of the two orbits is labeled "Nov. 17 ('50)". The comet's path is shown as a line with arrows, labeled "Nov. 20 ('46)" and "Nov. 18 ('50)". The Earth's position is marked with a dot, and the meteor shower is indicated by a line labeled "i = 16°". A scale bar at the bottom indicates 1 A.U.

135

meteoren zijn dus gemiddeld vrij zwak. Toch zijn heldere Leoniden geen uitzondering: 12% van door DMS waarnemers R. Veltman en K. Jobse waargenomen Leoniden was helderder dan -2. Voor de Perseïden is dit percentage typisch 2%. r is mogelijk niet constant over het hele magnitude verloop. De heldere Leoniden bij de sterrenregen in 1966 lieten veel eindflares zien: nadat het meteoorspoor alweer zwakker begint te worden vlamt de meteoor plotseling op (ref. 6). Door de hoge snelheid zien die flares er op een foto langgerekt uit. Veel meteoren zijn geel van kleur (40% van de meteoren van +2 of helderder) en een opvallend aantal is groen (13%) of blauw (9%) van kleur (ref. 5). Die groen-blaauwe kleur wordt veroorzaakt door lijnen van magnesium (Mg^+) in het spectrum. Ook bij de regen van 1966 werden de (heldere) meteoren omschreven als typisch blauw-wit van kleur met een lang nalichtend spoor. Die nalichtende sporen zijn opmerkelijk helder en lang durend. DMS waarnemer Klaas Jobse zag een -10 Leonide met een spoor dat 120 seconden zichtbaar bleef en 31 minuten lang met een beeldversterker gefilmd kon worden (ref. 11). Rudolf Veltman zag een -10 Leonide die 70 seconden bleef nalichten (zie figuur) en Jeff Wood doet melding van een -6 Leonide met een 65 seconden lang zichtbaar spoor. Klaas zag een -6 Leonide die 23 seconden bleef nalichten. Uit DMS waarnemingen werd een verband gevonden tussen de duur van een nalichtend spoor en de magnitude dat opvallend steil is: $\log \langle t \rangle / m_v = -0.16$, tegen -0.09 voor de Perseïden. Een -6 Leonide duurt gemiddeld 17 seconden. $38 \pm 3\%$ van de meteoren heeft een nalichtend spoor.

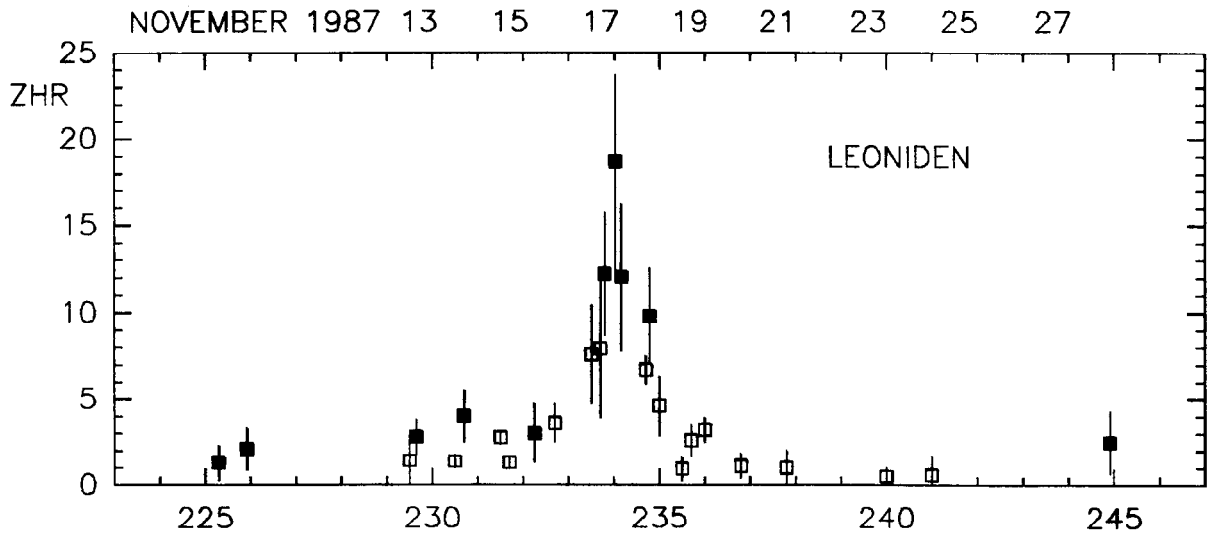


De Leoniden komen eind oktober van RA= 152.6, DEC= 21.5 bij zonslengte 234.0. Theoretisch ligt de radiant bij RA=152, DEC=22, $V_\infty=71$ km/s (ref. 12). De radiantbeweging die ik kon afgeleiden uit slechts 7 gefotografeerde Leoniden (ref. 13,14,15) is 0.99 graden/dag in RA en -0.36 graden/dag in DEC. Uit Japanse visuele intekeningen uit 1932-1934 (ref. 16) werd een beweging gevonden van 0.91 en -0.44 graden/dag, in goede overeenstemming.



Aktiviteit

In de periode 1981-1987 werden maar een handvol Leoniden waargenomen door DMS en door NAPO-MS. Uit deze gegevens werd onderstaande ZHR curve afgeleid.



Het maximum bedroeg ongeveer 12 meteoren/uur bij zonslengte 234.2 ± 0.2 . De meteoren regens in de jaren '60 hadden hun maximum bij 233.73 (1964, radar), 234.46 (1965), 234.452 ± 0.003 (1966), 234.6 (1969). Het theoretisch maximum is bij 224.3 voor de baan van de komeet in 1366 tot 233.9 voor die van 1965.

1. Hughes D.W.; *Vistas in Astronomy* 26 (1982) 325
2. Yeomans D.K.; *ICARUS* 47 (1981) 492
3. Imoto S.; Hasegawa I.; *Smits. Contr. to Astroph.* 2 (1957) 131
4. Olivier P.C.; *Meteors* (1925) 23 (chapt. IV)
5. *Sky&Telescope* 33 (1967) 4
6. Belyaev N.A., Kresak L., Pittich E.M., Poshkarev A.N.; *Catalogue of short-period comets* (Bratislava, 1986)
7. Wood J.; *NAPO-MS Bulletin (WGN)* 14 (1986) 185
8. Wood J.; *NAPO-MS Bulletin* 91 (1984)
9. Wood J.; *NAPO-MS Bulletin* 7 (1982)
10. Jenniskens P.; *Radiant* 10 (1988)
11. Jobse K.; *Radiant* 9 (1987)
12. Drummond J.D.; *ICARUS* 47 (1981) 500
13. Ochiai T.; *WGN* 13 (1985) 88
14. McCrosky R.E., Posen A.; *Smits. Contr. to Astroph.* 4 (1960) 15
15. Jacchia G., Whipple F.L.; *Smits. Contr. to Astroph.* 4 (1961) 97
16. Millman P.M.; *Journ. Roy. Astron. Soc. of Canada* 30 (1936) 249



Geschiedenis

De Phoeniciden zwerm is ontdekt op 3 december 1887 door V. Williams in Sydney, Australië (ref. 1). In deze nacht nam hij gedurende korte tijd gemiddeld bijna één meteor per minuut waar, komend vanaf $RA=24$, $DEC=-55$ graden. De meteoren waren niet opvallend helder en trokken lange gele sporen. De zwerm werd opnieuw gezien op 5 december 1938 door kapitein Murray die een groot aantal meteoren zag komen van de ster Achernar. In 1956 was de zwerm opnieuw actief. Nu zagen vele waarnemers in Nieuw-Zeeland, Australië en Zuid-Afrika de zwerm. Op 5/6 december werden uurfrequenties tussen 10 en meer dan 100 meteoren per uur gemeld. Het maximum viel bij zonslengte 253.55 (ref. 2). De zwerm werd dat jaar ook met radar gedetecteerd door A.A. Weiss die een uurfrequentie van 20 meldde (ref. 3), zo'n 6 uur voordat de visuele waarnemingen werden gedaan. In het algemeen omschreef men de meteoren als langzaam en lange sporen trekkend (lage radiantstand?). De meteoren waren typisch geel, oranje of rood van kleur. De radiant werd bepaald door C.A. Shain bij $RA=15$, $DEC=-58$. Met radar vond men $RA=15 \pm 2$, $DEC=-55 \pm 3$. Vanaf 1956 werd de zwerm min of meer regelmatig waargenomen, waarbij meestal lage uurfrequenties (2-6) werden gevonden. Op 4/5 december 1972 werd een ZHR van 20 genoteerd door M.J. Buhagiar. De meteoren kwamen van $RA=25$, $DEC=-57$ nabij Archernar.

De zwerm wordt wel geassocieerd met komeet P/Blanpain 1819 IV, die een theoretische radiant heeft bij $RA=336$, $DEC=-38$, $V_{\infty}=18$ km/s, en een maximum op 5 januari ($\Delta=0.075$ AE). De komeet is op 28 november 1819 ontdekt door M. Blanpain uit Marseille en werd tot 25 januari 1819 waargenomen. Daarna is hij nooit meer gezien. De baan van de komeet is kortperiodiek en wordt sterk door Jupiter gestoord. Kort na 1800 werd de baan flink gewijzigd. In 1800 waren de baanelementen: $\omega=344.76$, $\Omega=82.00$, $i=8.18$, $e=0.685$ en $q=0.952$. In 1819 waren die respectievelijk 350.22, 79.15, 9.11, 0.699 en 0.892 (ref.4).

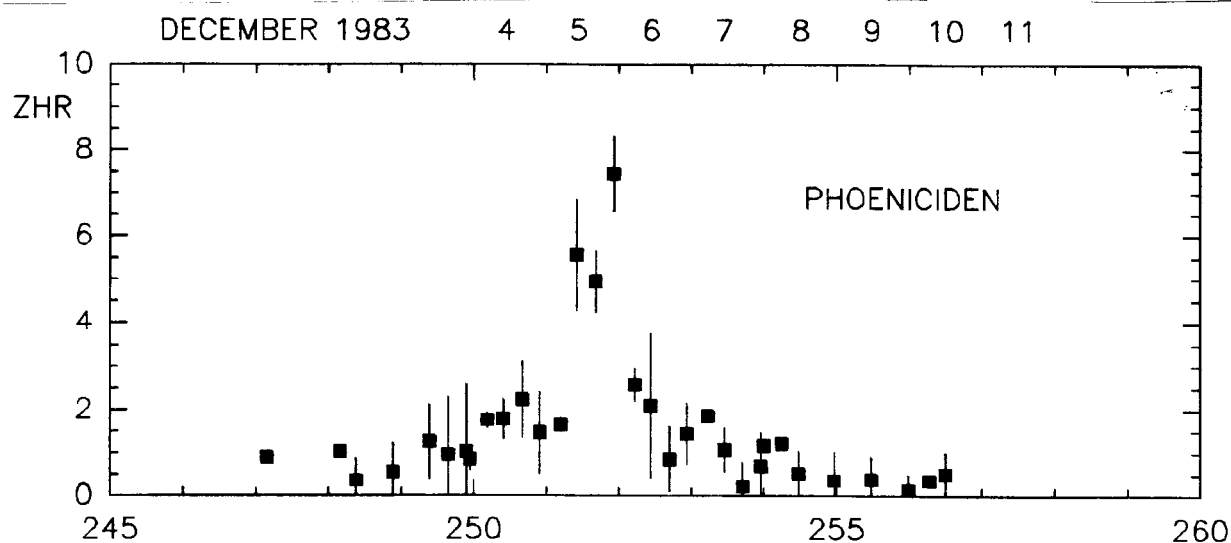
Verschijsning

De meteoren zijn traag, $V_{\infty}=22$ km/s (ref. 2). 40-55% van de heldere meteoren is geel van kleur, ongeveer 5 % van de meteoren laat een nalichtend spoor na (ref. 5). Het gerapporteerde percentage nalichtende sporen hangt sterk af van

de gemiddelde magnitude. Blijkbaar neemt het percentage nalichtende sporen per magnitude snel af voor zwakkere meteoren.

m_v :	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	N	<m>	%trains
1985	2	5	3	9	16	27	36	30	10	0	138	2.38	4.84
1982	0	2	1	5	2	6	11	8	3	2	40	2.52	7.5
1986	0	0	2	3	2	13	17	14	5	1	57	2.88	5.3
1980	0	0	1	2	8	9	18	19	10	2	69	3.14	2.9
1983	0	2	4	2	7	11	19	26	21	5	97	3.27	2.06

Aktiviteit De regens van deze zwerm zijn niet indrukwekkend. In de "rustige" jaren heeft deze zwerm een smal ZHR profiel waarvan het maximum regelmatig gemist zal zijn. De ZHR blijft beneden 2, behalve op in de nacht van 4/5 december. Overigens werd in 1986 een maximum in de nacht van 5/6 december gevonden. Misschien is het aktiviteitsprofiel inderdaad zeer variabel. De ZHR curve is gebaseerd op ZHR berekening van de jaren 1980-1985.



Referenties

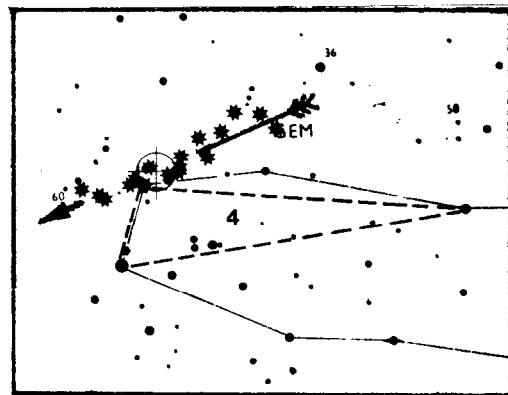
1. Wood J.; WAMS-Bulletin 157 (1980)
3. Weiss A.A.; M.N.R.A.S. 120 (1960) 29
2. Cook A.F.; NASA SP-319 (Washington DC., 1973) blz. 183
4. Belyaev N.A., Kresak L., Pittrich E.M., Pushkarev A.N.; Catalogue of short period comets (Bratislava, 1986)
5. Wood J.; NAPO-MS Bulletins 10 (1982), 55 (1983), 129 (1985), 178 (1986)



Geschiedenis Er zijn geen Geminiden regens bekend. Astapovic en Terenteva (ref. 1) vonden dat 14 vuurbollen, gezien en opgetekend in de periode 6-18 december 1038-1099 een gezamenlijke radiant hadden bij RA=103, DEC=+26, niet ver van de huidige Geminiden radiant bij RA=113, DEC=+32. Geen andere zwerm werd in deze periode gevonden. De zwerm bleek in de 11e eeuw bovendien erg compact: de vuurbollen verschenen vooral op 13/14 december.

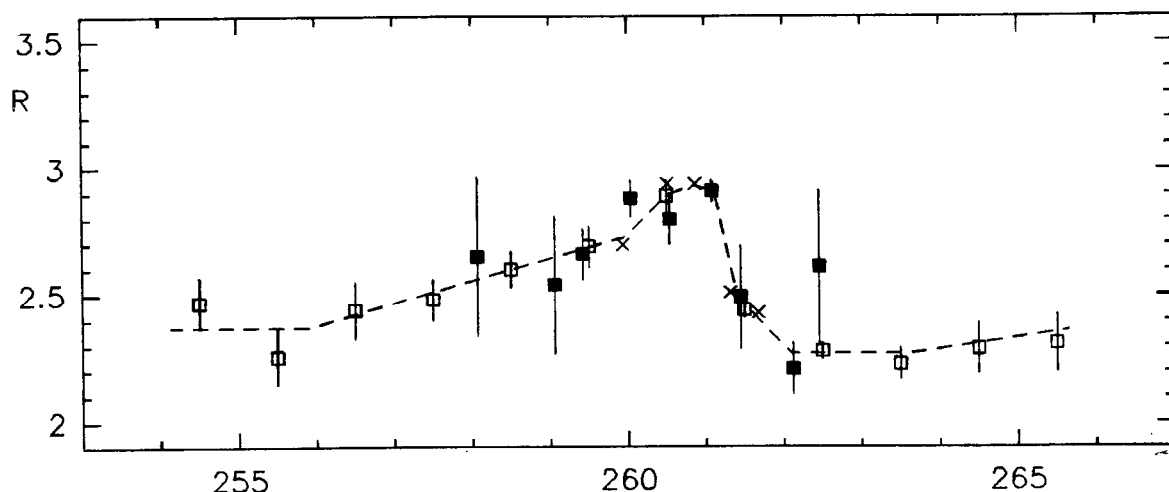
Met de opkomst van de meteoren astronomie in het begin van de 19e eeuw, werd snel de eerste Geminiden aktiviteit opgemerkt. Quetelet schreef dat op 12/13 december 1830 in totaal 40 vuurbollen werden gerapporteerd. C. Steyaert vond uit 33 op 8 december 1847 ingetekende Geminiden een radiant bij RA=112, Dec=+33 (ref. 2). Zonder twijfel was de zwerm al actief voordat hij in 1862 "ontdekt" werd door mensen als R.P. Greg uit Engeland. Vanaf dat moment nam ook Denning de zwerm regelmatig waar, voor zover de bewolking in december dat toeliet, en kon hij in 1877 de dagelijkse radiantbeweging bepalen (ref. 3).

Verschijsning De Geminiden radiant ligt tijdens het maximum (zonslengte 261.3) net boven de ster Castor, de bovenste ster van het duo Castor en Pollux in de Tweelingen (bij RA = 112.6, DEC=+32.4). De radiant verschuift met 0.97 en -0.08 graden per dag in rechte klimming en declinatie respectievelijk. Geminiden zijn opmerkelijke meteoren, in veel opzichten. De meteoren

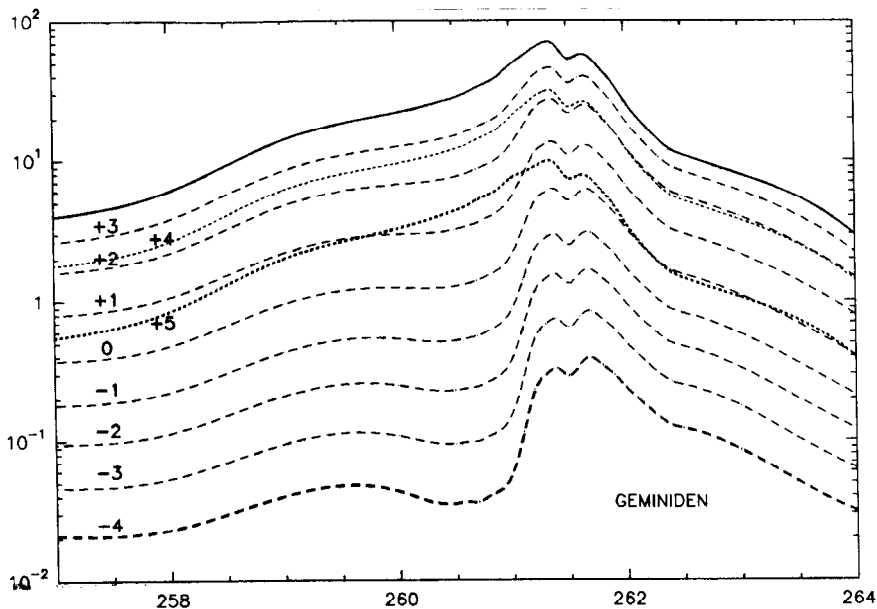


hebben een heel regelmatig helderheids verloop. Ze vertonen geen flares en geen fragmentatie (vonken). Maar een klein percentage van de meteoren (3-5%) vertoont een nalichtend spoor, dat bovendien maar kort duurt. In 1983 vond Rudolf Veltman uit DMS waarnemingen dat de gemiddelde tijdsduur van nalichtende sporen voor verschillende magnituden wordt gegeven door (ref. 4): $\log \langle t \rangle = 0.19 - 0.063 m_v$. Een -6 Geminide heeft dus een spoor dat gemiddeld 4 seconden blijft nagloeien. Vergelijk dat bijvoorbeeld met een Leonide van -6: 17 seconden. Australische waarnemers noteerden dat 26-35% van de Geminiden van +2 en helderder geel van kleur zijn, 2-6% blauw en 2-4% groen (ref. 7,8). Door hun medium snelheid, $V_\infty = 36$ km/s, en hun gelijkmatige verdamping, vormen de Geminiden met name tijdens hun maximum een majestueuze verschijning.

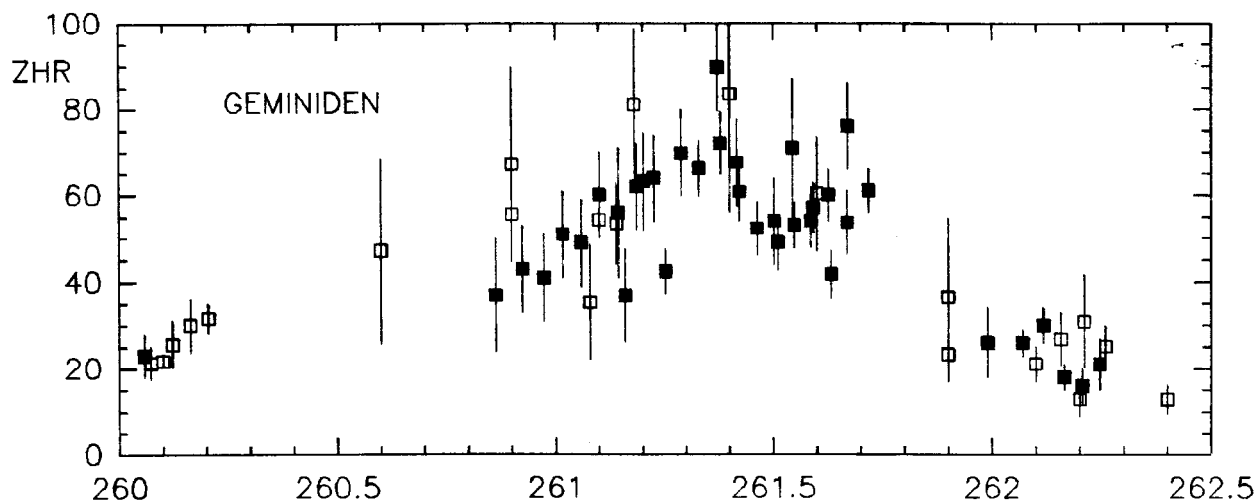
De gemiddelde helderheid van de Geminiden is niet constant tijdens de aktiviteits periode. Onderstaande figuur laat het verloop van r zien, bepaald uit de gemiddelde magnitude: een hoge r betekent dat de meteoren gemiddeld zwak zijn. Voor het maximum zijn de meteoren dus gemiddeld zwakker dan na het maximum. Dat merk je vooral bij het aantal heldere meteoren dat er verschijnt. Vooral ook de nacht van 14/15 december kan soms opvallend veel heldere meteoren geven, ondanks het feit dat dan de totale aktiviteit al behoorlijk is afgenomen. De figuur is samengesteld uit DMS data (zwarte blokjes, ref. 4,6), BAA data (open blokjes, ref. 9) en Tsjechische data (kruisjes, ref. 10).



Aktiviteit Nevenstaande figuur is gemaakt uit NAPO-MS data (Jeff Wood, ref. 7,8) en DMS waarnemingen (zwart geblokt, ref. 4-6). De zwerm blijkt al vanaf de eerste dagen van december actief. De ZHR blijft echter beneden de tien per uur tot 11/12 december. De nachten van 12/13 en 13/14 zijn de meest aktieve nachten. Op 14/15 december neemt de aktiviteit plotseling sterk af, maar zoals gezegd kunnen de meteoren dan wel vaak helder zijn. Tot 18 december zijn er nog Geminiden te zien. Overigens kunnen telescoop bezitters nog langer en vroeger Geminiden zien. Wanneer r bekend is, dan kan uit de ZHR voor elke helderheids klasse een ZHR kromme berekend worden. We gaan er dan vanuit dat r constant is over het interval -4 tot $+5$! Vergelijk in onderstaande figuur de ZHR grafiek voor -4 meteoren met die voor $+5$ meteoren: de zwakke meteoren hebben een breder profiel. Het maximum valt bovendien vroeger. Spalding vond uit een wat ruwere analyse (indeling van de meteoren in tijdsintervallen van $1/4$ dag), dat voor het tijdstip van het maximum geldt (ref. 11): $\lambda_0 = 261.55 \pm 0.05 - 0.078 \pm 0.025 m_v$.



Simek (ref. 12) vond uit radar waarnemingen dat het maximum voor +6 meteoren zou liggen bij 260.54 ± 0.11 , voor +1.8 meteoren bij 261.17 ± 0.07 en voor -1.3 meteoren bij 261.39 ± 0.09 . Daaruit volgt een verband: $\lambda_0 = 261.29 - 0.118 m_v$. Het visuele maximum lijkt overigens een dubbel gepiekte structuur te hebben (ref. 13). Dit werd ook voorspeld uit computer simulaties van de Geminiden zwerm. Onderstaande ZHR curve toont het Geminiden maximum in detail.



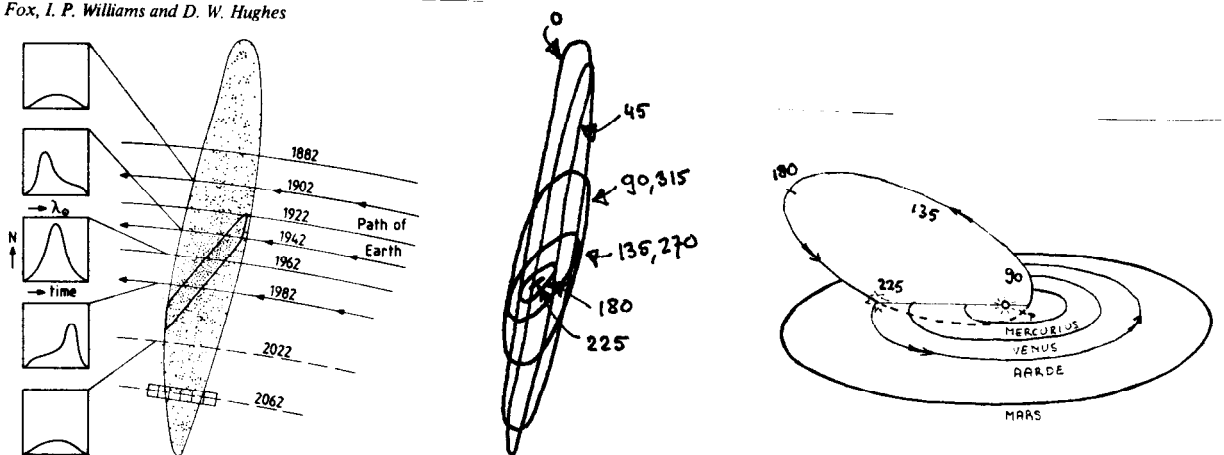
Evolutie Toen de snelheid van de Geminiden nauwkeurig gemeten kon worden, ontdekte men dat deze zwerm een kleine langgerekte baan rond de zon heeft. De periode is maar 1.6 jaar, de helft van die van de korts-periodieke komeet die we kennen: komeet P/Encke ($P=3.30$ jaar). De Geminiden stofjes kunnen tot op 0.14 AE bij de zon komen en worden daar tot bijna het smeltpunt van silicaten (1100 K) verhit. dat betekend dat alle vluchtig materiaal (waterijs, CO , organisch materiaal wellicht) van de stofdeeltjes afdampt. Over blijft dan een vrij compacte meteorofide met een hoge gemiddelde dichtheid.

De Geminiden hebben de hoogst bekende gemiddelde dichtheid van alle meteoroorzwermen: tot 2.4 maal die van de sporadische meteoren (ref. 14), overigens nog misschien niet meer dan zo'n 0.3 gram/cm^3 ! Dat de deeltjes compact en vrij stevig zijn wordt ook aangeduid door hun regelmatig helderheidsverloop, het ontbreken van flares.

De structuur van de zwerm wordt door twee dingen bepaald: de oorspronkelijke uitstoting van het materiaal en de verdere verstoring van de uitgestoten meteoroiden in hun loop om de zon door de planeten.

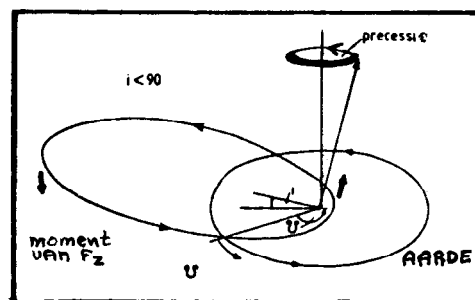
Fox en medewerkers onderzochten de invloed van de uitstoting. De baan is zo kort dat er waarschijnlijk langs de hele baan stof van de oorspronkelijke moederkomeet is losgekomen. Die komeet is heel snel verdampt. Zij vonden dat, afhankelijk van waar in de baan de uitstoting plaatsvond, het stof zich ter hoogte van de Aarde in een buisvormige structuur verdeelt. Een doorsnede van de zwerm langs de ecliptica ziet eruit zoals hieronder (links) is weergegeven. De figuur ernaast laat zien hoe deze doorsnede is opgebouwd uit materiaal dat op verschillende plaatsen in de baan is losgelaten. Die plaatsen zijn met getallen aangegeven. 0 is het perihelium, 225 ter hoogte van de Aardbaan. De deeltjes die oorspronkelijk ter hoogte van de Aardbaan zijn uitgestoten, komen daar ook telkens weer terug en vormen een piek in het centrum.

K. Fox, I. P. Williams and D. W. Hughes



De planeten zorgen vervolgens voor een verstoring van die banen. Omdat de baan zo kort is en de meteoren niet erg dicht bij Jupiter komen, de zwaarste planeet met de grootste invloed, gaat die evolutie vrij geleidelijk, d.w.z. zonder schokken, maar wel in hoog tempo. De verandering komt neer op een precessie beweging van de baan. Een prograde (Geminiden-) baan wordt zo

verdraaid dat de klimmende knoop groter wordt met de tijd en het tijdstip van het maximum dus steeds later zal vallen, bij een retrograde (Orionide-) baan is dat net omgekeerd. Theoretisch verschuift de Geminidenbaan met 1.564 graden/eeuw. Daarvan neemt Jupiter 1.424 graden, Saturnus 0.06 en de Aarde en Venus maar 0.03 graden voor hun rekening. Nu is het echter zo



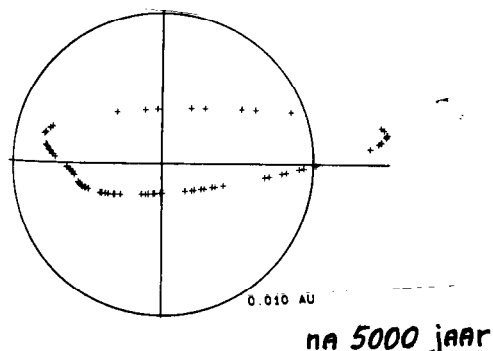
dat het tijdstip van het maximum de afgelopen eeuw vrijwel onveranderd is gebleven, steeds bij zonslengte 261.3. Dat is misschien te begrijpen door de vreemde vorm van de deeltjes verdeling in de zwerm en het verschuiven van de zwerm door de invloed van de planeten. Door de precessie van de baan trekt de zwerm als het ware langs de Aardbaan. 500 jaar geleden lag de dalende knoop ver van de Aardbaan: toen was de zwerm op VENUS actief! (ref. 15). Door die verplaatsing trekt de Aarde steeds op een andere plaats door de zwerm. In de voorgaande figuur is dat aangegeven. Ernaast is de vorm van de Geminiden ZHR curve weergegeven. We zien dat de zwerm zich wel met 1.6 graden/eeuw verplaats naar latere datum, maar door de schuine balk in de deeltjes verdeling blijft het maximum van de zwerm toch steeds op dezelfde tijdstip vallen. Volgens Fox en medewerkers zou er tot in het begin van de vorige eeuw geen Geminidenzwerm te zien zijn geweest (ook niet in de 11e eeuw) maar nam de activiteit daarna snel toe, totdat in 1962 een maximum bereikt werd. Daarna zou de activiteit weer moeten afnemen en zou de zwerm over een eeuw volledig verdwijnen.

Voorlopig wijzen de waarnemingen niet op zo'n toe en afname van de activiteit en is het beeld dat hierboven werd geschetst misschien te eenvoudig: Fox nam aan dat de banen samen veranderen, allemaal op dezelfde manier. Dan verandert het zwermprofiel echter niet meer zodra de deeltjes eenmaal zijn uitgestoten (ref. 15). Daarom berekende Jones de verstoring door de planeten nog eens precies voor een 71 tal deeltjes (ref. 16). Doordat af en toe de deeltjes relatief dicht bij de planeet komen, worden die in hun baan gestoord, waardoor de zwerm in zijn geheel breder, diffuser wordt. In plaats van een gewone versmearing, vond Jones dat de banen kwamen te liggen op het oppervlak van een torus. De geminiden vormden dus een buis in de ruimte. Dit blijkt overigens een unieke eigenschap van de Geminiden zwerm. Door de korte baan zijn alleen invloeden met de periode P van Jupiter belangrijk. Bij een baan die dichter

bij Jupiter kan komen, zijn ook de storingsen van periode $P/2$, $P/3$, etc. belangrijk, en zou de zwerm een doorsnede krijgen waarin ook een δ ($P/2$), een ϕ ($P/3$), etc. is te herkennen. Bij de Geminiden vormt zich alleen een buis. Die buis wordt na verloop van tijd steeds wijder. Wanneer de Aarde door de buis trekt, zijn er twee maxima te zien. Vandaar de dubbele structuur van het Geminiden maximum. Uit de afstand tussen de pieken is een leeftijd af te schatten: 1600 ± 200 jaar (ref. 13). Ook de flanken van de ZHR curve zijn als zo'n ring op te vatten. Dat materiaal zou dan al 3000 jaar geleden uitgestoten moeten zijn. De zwerm kan niet ouder zijn dan zo'n 4700 jaar, omdat dat de periode is waarop het Poynting-Robbertson het effect van de massaspreiding binnen de Geminidenzwerm kan veroorzaken.

Opmerkelijk is dat in 1983 door IRAS een object werd ontdekt dat er als een planetoïde uitzag en 1983 TB werd gedoopt. Later werd het 3200 Phaeton genoemd. Het vertoont bijna dezelfde baan als de Geminidenzwerm (ref. 17). Het vermoeden bestaat dat het hier misschien om een uitgedoofde komeetkern gaat. Vervolg waarnemingen hebben daarover nog geen uitsluitsel gegeven.

1. Astapovic I.S., Terenteva A.K.;
IAU-symp. 33 (1968) 308
2. Roggemans P.; WGN 12 (1984) 114
3. Lovell A.C.B.; Meteor Astronomy 308
4. Veltman R.; Radiant 6 (1984) 31
5. Veltman R.; Radiant 7 (1985) 22
6. Veltman R.; Radiant 8 (1986) 56
7. Wood J.; WAMS Bulletin 158 (1980), 174 (1981)
8. Wood J.; NAPO-MS Bulletin 13(1982), 56(1983), 100(1984), 137(1985), 171(1986)
9. Spalding G.; BAA Journal 92 (1982) 227
10. Porubcan V.; Kresakova M.; Stohl J.; Contr. Skaln. Pleso Obs. 9 (1980) 125
11. Spalding G.; B.A.A. Journal 94 (1984) 109
12. Simek M., Chebotarev R.P., Isamutdinov Sh. O., Pecina P., Znojil V.;
B.A.C. 33 (1982) 349
13. Jenniskens P.; Radiant 8 (1986) 58
14. Jacchia L.G., Verniani F., Briggs R.E.; Smits. Contr. to Astroph. 11(1965) 1
15. Fox K., Williams I.P., Hughes D.W.; M.N.R.A.S. 205 (1983) 1155
16. Jones J.; M.N.R.A.S. 21 (1985) 523
17. Hughes D.W.; Nature 306 (1983) 116





Geschiedenis Op 16 december 1449 (22 dec. 1900) bewoog een meteor "zo groot als een perzik, beginnend bij i-Draconis richting zuid-west. Zij was blauw-wit van kleur, maakte geluid en deed de grond oplichten. De vuurbol werd gevolgd door vier kleinere sterren" (vonken?) (ref. 2). Dit is misschien een Urside geweest. In de 19e eeuw werd wel eens wat activiteit opgemerkt uit de Kleine Beer, maar de zwerm werd pas "ontdekt" in 1945 toen Slovaakse waarnemers (waaronder Becvar) 169 Ursiden telden in 1,5 uur vanaf de Skalnaté Pleso sterrewacht. Gemiddeld over 100 minuten was de ZHR 48 meteoren/uur (ref. 3). Rond deze ontdekking deden zich nogal wat chaotische taferelen voor: de intekeningen bleken niet al te nauwkeurig, een legende ontstond als zou de ZHR maximaal 169 zijn geweest, enz. Er zijn 3 Ursiden gefotografeerd in de nacht van de ontdekking, met een snijlijn radiant bij $RA=217.08 \pm 0.07$ en $DEC=+75.85 \pm 0.05$.

Direkt werd een verband gelegd tussen deze zwerm en komeet P/Tuttle 1790 II. De komeet is niet door Tuttle ontdekt, maar door P.F.A. Méchain uit Parijs op 9 januari 1790. Daarna werd zij vier omlopen niet gezien. H.P. Tuttle vond de komeet terug op 5 januari 1858 vanuit Cambridge (USA) en onafhankelijk van hem ook C. Bruhns op 12 januari vanuit Berlijn (ref. 1). Tussen 20 december en 12 januari 1449 werd naast de mogelijke Urside vuurbol ook een komeet waargenomen. Tian-shan vond dat deze komeet een inclinatie van ruwweg $i=59$, gehad moest hebben en $\Omega = 262$. P/Tuttle heeft $i=54$, $\Omega=270$.

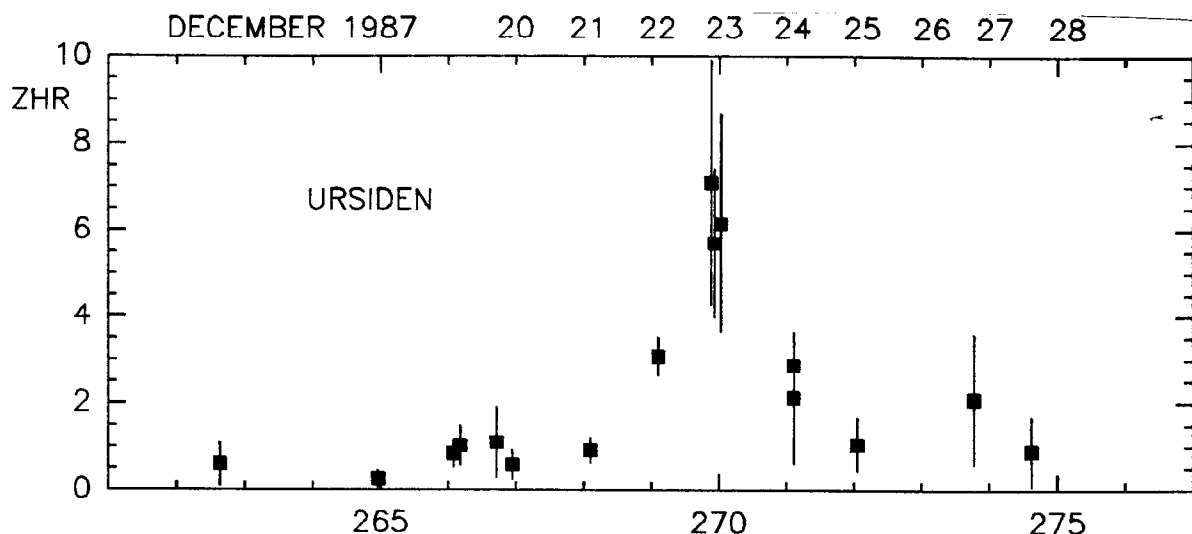
In 1986 werd opnieuw een vlaag Ursiden waargenomen. De ZHR per 60 min. liep op tot 100 ± 20 ($\gamma=1$) bij zonslengte 270.24 . De regen werd gezien door Kai Gaarder en Lars Trygve-Heen van de Noorse meteoren club NAS-MS (ref. 4). Cep-lecha (ref. 3) merkte al bij de "regen" in 1945 op dat deze optrad toen de komeet juist het verste van de zon verwijderd was. De komeet heeft een periode van 13.66 jaar. De wolk meteoroiden die de verhoogde activiteit veroorzaken houden zich daar blijkbaar ook aan. In 1987 werd niets bijzonders opgemerkt.

Verschijsning Ursiden hebben een medium snelheid, als de Geminiden: $V_{\infty}=35$ km/s. Ik ken één simultaan gefotografeerde Urside, door R.E. McCrosky, op 22.437 december 1965 (ref. 5). Deze vuurbol had een radiant bij $RA=221.7$, $DEC=75.7$ en $V_{\infty}=35.2$ km/s. Van de radiant beweging van de Ursiden is weinig bekend. Uit DMS waarnemingen in 1984 werd de radiant bepaald bij

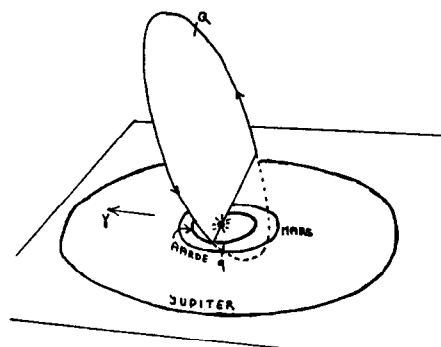
RA=223 $\pm$ 3 en DEC=78.2 $\pm$ 1.8, niet ver van de theoretische radiant bij RA=219, DEC=+74 (ref. 7). De radiant is circumpolair en de zwerm kan dus ook 's-avonds worden waargenomen.

In 1984 vond Rudolf Veltman een gemiddelde helderheid van $M_V=3.09$. De meteoren blijven dus aan de zwakke kant. Toch verschijnen er meestal wel een aantal heldere Ursiden tijdens de maximum nacht, vaak blauw of groen-blauw van kleur. In tegenstelling tot de Geminiden worden flares bij heldere meteoren regelmatig gerapporteerd. Door de wat lagere gemiddelde helderheid vond hij ook maar een laag percentage nalichtende sporen: $4 \pm 2 \%$. Eén -6 Urside had een spoor dat 5 seconden duurde (ref. 8). Tijdens de regen in 1986 vond Kai Gaarder een gemiddelde magnitude van 2.6 ± 0.3 , $r=2.7$ (uit N_p/N_s) en een percentage nalichtende sporen van 17%. Het verband tussen tijdsduur en helderheid is: $\log\langle t \rangle = -0.43 - 0.18 m_V$. Een -6 Urside geeft een spoor van gemiddeld 4 sec. Alleen de heldere meteoren laten nalichtende sporen na.

Aktiviteit Onderstaande ZHR resultaten zijn verkregen in 1984 en 1987.



1. Belyaev N.A., Kresák L., Pittich E.M., Pushkarev A.N.; Catalogue of Short Period Comets (Bratislava, 1986) blz. 51
2. Zhuang Tian-shan; Chinese Astronomy 1 (1977) 197
3. Cepplecha Z.; B.A.C. 2 (1951) 156
4. Jenniskens P.; Radiant 9 (1987) 101
5. McCrosky R.E.; IAU-symp. 33 (1968) 265
6. Veltman R.; Radiant 7 (1985) 22
7. Drummond J.D.; ICARUS 47 (1981) 500



HOOFDSTUK 5

APPENDICES

Verschijsning

Zwerm:	V_{∞}	$H_{2.5}$	H_E	χ	$\rho/\rho_{\text{spor.}}$	% sporen: geel: blauw:			
Leoniden	71.7	125.9	87.2	0.37	(1.7)	38 $\pm$ 3	40	9	
Orioniden	68.0	119.6	99.3	0.46	0.6 0.2	24 3	35	7	
η -Aquariden	66.8	119.6	99.7	0.09	(1.6)	6.3 0.9	39	4	
Perseiden	60.2	114.8	94.3	0.28	1.2 0.3	33 4	-	-	
Lyriden	48.8	107.9	87.6	0.08	1.2 0.6	10 2	(25)	(13)	
Bootiden	43.1	103.1	90.6	0.44	0.7 0.2	3 2	-	-	
δ -Aquariden Z	42.5	99.8	88.4	0.52	1.0 0.3	4.4 0.5	35	9	
Geminiden	36.2	101.3	80.0	0.21	4 1	4 1	32	5	
i-Aquariden N	35.9	98.8	84.7	0.10	(1.7)				
i-Aquariden Z	34.4	95.7	86.5	0.10	1.1 0.3	4 1	19	3	
Tauriden N	31.1	103.0	79.5	0.03	1.0 0.3				
Virginiden	30.8	96.0	77.7	0.15	3.5 1				
Tauriden Z	29.9	99.6	82.2	0.04	0.9 0.1	6 2	61	3	
α -Capricorniden	25.6	96.9	86.0	0.38	0.5 0.1	7.7 1.4	64	3	
κ -Cygniden	23.2	97.1	85.5	0.11	0.6 0.2	3 3			
Draconiden	20.2	102.6	91.0	1.89	-. -				

Tabel 5-1: Achtereenvolgens zijn genoemd de zwermnaam, de snelheid buiten de atmosfeer, de hoogte waarop de meteoren gemiddeld van magnitude 2.5 zijn, de hoogte waarop ze uitdoven (H_E), de fragmentatie index, de gemiddelde dichtheid t.o.v. sporadische meteoren (1.0) met de onzekerheid daarin, vervolgens het percentage nalichtende sporen (DMS data, NAPO-MS data) en het % meteoren dat geel of blauw is voor meteoren helderder of gelijk aan +2 (NAPO-MS data). Kolom 2-5 zijn uit Jacchia L.G., Verniani F., Briggs R.E., Smits. Contr. to Ap. 11 (1965) 1. Kolom 6-7 zijn uit Verniani F.; Smits. Contr. to Ap. 8 (1964) 141.

Aktiviteit

Zwerm:	maximum: ZHR	tijdstip (tol.)	datum:	aktief:	zwermwijdte:
Bootiden	75	282.64 $\pm$ 0.04	3/4 jan.	<281->285	0.43 0.04
Alpha Cruciden	5	294.0 0.5	14/15 jan.	287-301	1.8 0.8
Alpha Centauriden	10	318.5 0.4	8/9 feb.	312-329	0.7 0.2
Gamma Normiden	9	352.0 0.5	14 maart	347-356	1.7 0.3
Delta Pavoniden	7	8.0 1.0	30 maart	355- 20	
Lyriden	13	31.5 0.2	21/22 april	27- 37	2.2 0.3
Sigma Puppiden	var.	32.90 0.05	23/24 april	var.	0.11 0.05
Eta Aquariden	50	44 1	6 mei	30- 67	6.3 0.9
Daglicht Arietiden	13	75 1	6/7 juni	<71- 85	5.9 0.8
Piscis Australiden	6	123.0 0.5	27 juli	116-130	1.2 0.3
Alpha Capricorniden	4	124 2	27 juli	109-138	5 2
Delta Aquariden Z	15	125 1	28/29 juli	<116-148	5.1 0.8
Delta Aquariden N	1.8	132 8	4 aug.?	118-139	
Iota Aquariden Z	6	133 1	6 aug.	118->138	6.5 1.0
Perseiden	75	139.4 0.2	12 aug.	123-149	3.2 0.3
Kappa Cygniden	3	145 1	18 aug.	136-150	7.4 2.2
Alpha Aurigiden	10	157.82 0.02	1 sept.	<143->158	
Draconiden	var.	194.6 0.1	9 okt.	var.	0.07 0.01
Epsilon Geminiden	1.8	206 4	20 okt.	>190-214	
Orioniden	22	208.0 0.5	22 okt.	198-222	5.9 0.6
Tauriden	7	220 5	3 nov.	200-240	10.1 1.7
Leoniden	12	234.1 0.2	17 nov.	<225-238	1.5 0.3
Phoeniciden	6	251.7 0.4	4/5 dec.	248-254	1.2 0.5
Geminiden	70	261.3 0.1	13/14 dec.	249-267	1.14 0.09
Ursiden	6	270.0 0.5	22/23 dec.	266-275	1.5 0.4

Tabel 5-2: Samengevatte gegevens afgeleid uit de ZHR krommen die voor dit handboek zijn gemaakt (zie hoofdstuk 4). Achtereenvolgens is gegeven de zwermnaam, de maximale ZHR ($\gamma=1$), het tijdstip van het maximum (zonslengte) met tolerantie, de datum van het maximum, de periode waarin de zwerm een detecteerbare visuele activiteit heeft, de breedte van de zwerm bij de helft van de maximale activiteit met de tolerantie.

KLEINE ZWERMEN

De volgende zwermen zijn duidelijk aanwezig in fotografische lijsten, maar hebben waarschijnlijk een zwakke aktiviteit (uit: A.F. Cook; NASA-SP. 319)

Zwerm:	Aktiviteitsperiode: maximum:		RA	DEC	V _∞
δ -Cancriden	13 jan.-21 jan.	296	16 jan.	126 +20	30
δ -Draconiden	28 mrt.-17 apr.	14	4 apr.	281 +68	29.0
κ -Serpentiden	1 apr.- 7 apr.	14	4 apr.	230 +18	46
α -Bootiden	14 apr.-12 mei	36	28 apr.	218 +19	23
φ -Bootiden	16 apr.-12 mei	40	1 mei	240 +51	16
τ -Herculiden	19 mei -14 juni	72	3 juni	228 +39	19
χ -Scorpiiden	27 mei -20 juni	74	5 juni	247 -13	24
ο -Draconiden	7 juli-24 juli	113	16 juli	271 +59	26.1
Pisciden Z	31 aug.- 9 nov.	117	20 sept.	6 0	28.6
Pisciden N	25 sep.-19 okt.	199	12 okt.	26 +14	31
κ -Aquariden	11 sep.-28 sept.	178	21 sept.	338 -5	19.5
Andromediden	25 sep.-12 nov.	228	3 okt.	20 +34	21.4
Leo Minoriden	22 okt.-24 okt.	211	19 okt.	104 +27	70.3
Pegasiden	29 okt.-12 nov.	230	12 nov.	335 +21	15.8
σ -Hydriden	3 dec.-15 dec.	259	11 dec.	126.6 +1.6	59.5
χ -Orioniden N	4 dec.-15 dec.	258	10 dec.	84 +26	27.6
χ -Orioniden Z	7 dec.-16 dec.	259	11 dec.	85 +16	27.7
δ -Arietiden	8 dec.-14 dec.	258	10 dec.	52 +22	17.3
Coma Bereniciden	12 dec.-23 jan.	282	3 jan.	175 +25	66

De volgende niet genoemde zwermen hebben recentelijk een sterrenregen gegeven:

Zwerm:	Zonsl.+ datum regen:	RA	DEC	ZHR	N	<m>	%spor.	V _∞
κ -Pavoniden	114.10 17/18- 7-1986	275	-67	40	56	0.73	14	22 6
β -Hydrusiden	323.48 16/17- 8-1985	23	-76	40+10	116	1.60	4.3	18+4
ε -Eridaniden	167.40 10/11- 9-1981	56	-14	83+10	68	1.19	4.4	
α -Monocerotiden	238.62 20/21-11-1986	109	-7	>100	54	+2/3	few	<57
"	238.73 21 -11-1935	110	-5	>>100	110	weak?	-	

BAANELEMENTEN

Een baan in de ruimte van een meteoroïde is een ellips met de zon in één van de twee brandpunten. In de figuur hiernaast is P het **perihelium**, het punt in de baan het dichtste bij de zon, en Q het **aphelium**, het punt dat het verste van de zon af ligt. Zo'n ellips is met twee getallen vast te leggen, b.v. met

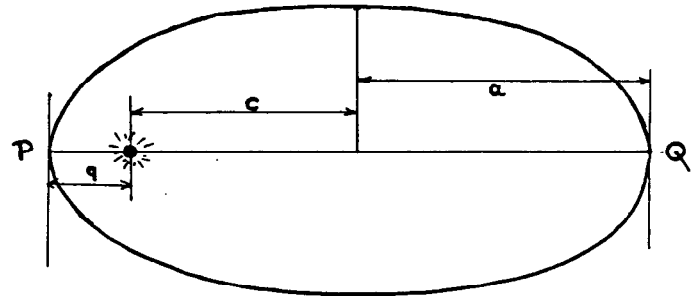
a = de halve lange as

e = de excentriciteit

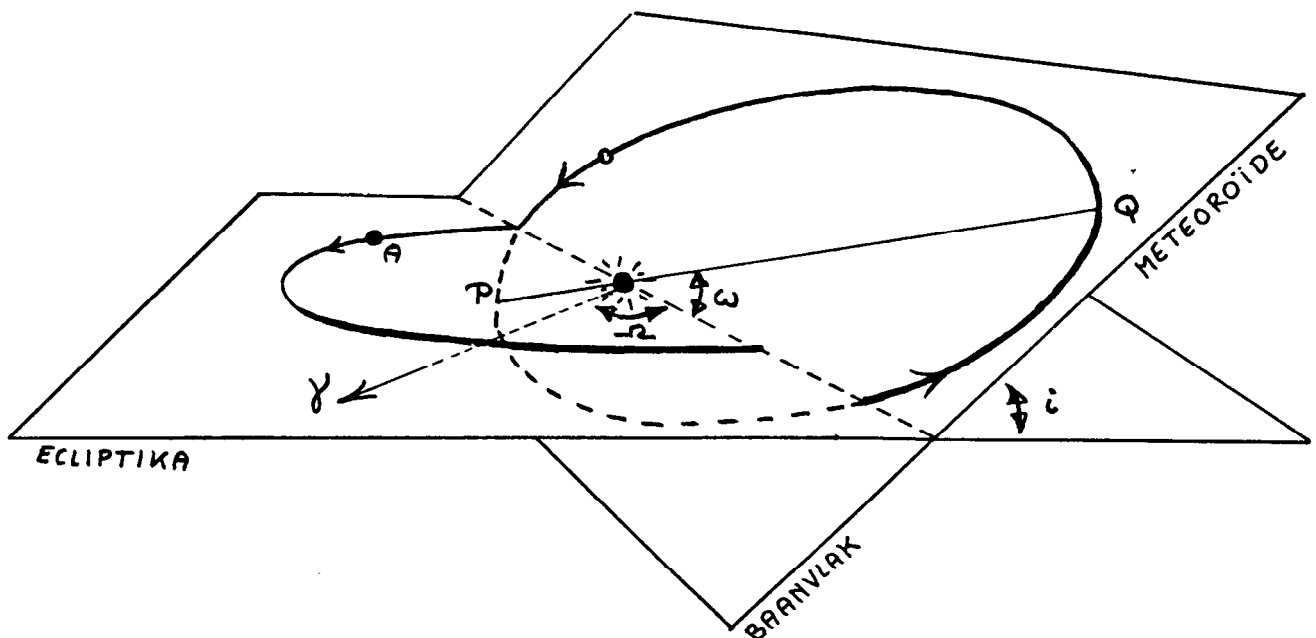
(zie figuur). De halve lange as bepaalt de grootte van de ellips, de excentriciteit legt de vorm vast. De excentriciteit is gedefinieerd als (zie de figuur voor de betekenis van c en a): $e = c/a$.

Vaak wordt ook nog een derde getal

gegeven, **q** = de **perihelium afstand**, de afstand Zon-P. Maar deze perihelium afstand is ook direkt uit a en e te berekenen: $q = a(1-e)$.



Hiermee is de ellips vastgelegd. Maar om de positie van deze ellipsbaan in de ruimte vast te leggen, zijn drie extra getallen nodig. In onderstaande figuur zijn de ellipsbanen van de Aarde (bijna een cirkel) en de meteoroïde getekend. Elke ellips ligt in een vlak zoals getekend. Het vlak van de Aardbaan heeft een speciale naam en heet de **ecliptica**. Het punt waar de meteoroïde door de ecliptica gaat, heet een knoop. Gaat de meteoroïde van onder naar boven door het vlak, dan is dat punt de **klimmende knoop** (Ω); gaat hij van boven naar beneden, dan is dat punt de **dalende knoop** (ω). In één van die knopen kan een



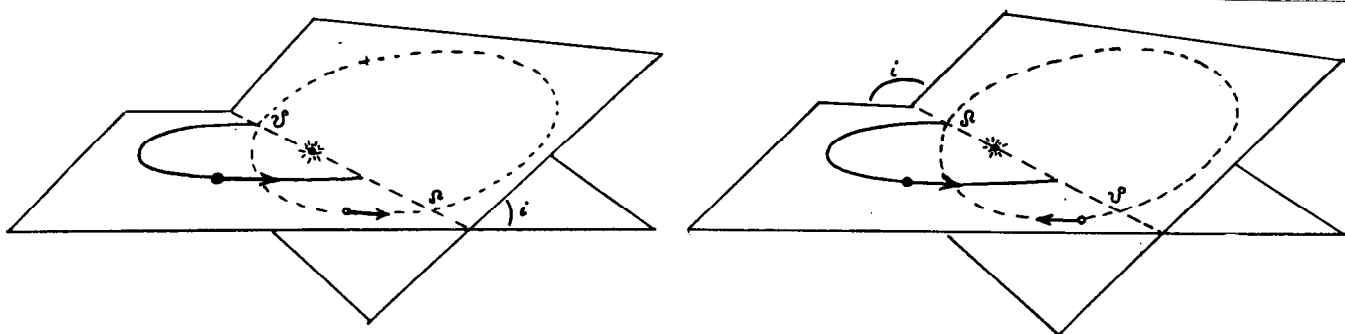
meteoroïde soms met de Aarde botsen, als tenminste beide hemellichamen daar tegelijkertijd aankomen. We zien dan (misschien) een meteor. De snijlijn van de twee vlakken heet de **knopenlijn**. Deze lijn verbindt de twee knopen. De zon ligt ook op de knopenlijn. De lijn door P-Zon-Q heet de **apsidenlijn**. De drie getallen die de positie van de ellipsbaan ten opzichte van de aardbaan vastleggen zijn (zie bovenstaande figuur):

i = **inclinatie**

Ω = **de lengte van de klimmende knoop**: de richting van de knopenlijn in het eclipticavlak

ω = **de perihelium hoek**: de richting van de apsidenlijn in het baanvlak van de meteoroïde

Deze hoeken zijn niet zomaar te geven. Ze worden bepaald door de richting van een soort nulpunt van waaruit gerekend wordt. Dit nulpunt (γ) is het lentepunt (zie hoofdstuk 1). Dit nulpunt verschuift door de precessie van de Aardas jaarlijks met $+0.01396$ graden. Daarom kiezen we de positie van één bepaald jaar als een vast punt, b.v. de positie in 1950 op 0 januari (**equinox 1950.0**). Met de inclinatie is nog iets bijzonders aan de hand. Een meteoroïde kan in twee richtingen in de baan bewegen. Een baan heet **retrograad** wanneer de meteoroïde in tegengestelde richting om de zon draait als de Aarde. We spreken af, dat we dan voor de inclinatie niet de scherpe hoek maar de stompe hoek tussen de twee vlakken nemen. De komeet van Halley heeft bijvoorbeeld een retrograde baan.



Samengevat zijn er vijf getallen nodig om de vorm en positie van een meteoroïde baan in de ruimte vast te leggen: a , e , i , Ω , en ω . Deze getallen worden de **baanelementen** van de meteoroïde genoemd.

Jenniskens P., De Lignie M.; Radiant 9 (1987) 10

Zwerm:	Ω	i	ω	e	a	q	V_{∞}	A	B	C
Bootiden	282.7	72.9	171.2	0.674	3.00	0.979	42.9	0.94	0.66	0.60
Lyriden	31.5	79.5	214.5	0.984	56.0	0.918	48.4	0.24	0.16	0.08
η -Aquariden	43.5	163.1	103.9	0.948	12.8	0.636	67.8			
δ -Aquariden Z	306.0	25.5	150.6	0.972	2.80	0.079	41.4	1.17	1.33	0.56
δ -Aquariden N	140.0	19.8	327.4	0.966	2.80	0.096	41.3	1.30	1.02	0.82
Perseiden	139.0	113.0	150.4	0.960	24.0	0.949	60.5	1.51	0.75	0.74
Draconiden	196.3	30.9	171.9	0.718	3.51	0.994	23.3	0.03	0.06	0.04
Orioniden	28.0	164.3	81.5	0.986	18.0	0.578	67.5	1.13	0.66	0.39
Tauriden Z	32.0	6.3	116.8	0.830	2.00	0.340	30.5	1.26	1.84	1.03
Tauriden N	212.0	2.9	302.3	0.871	2.20	0.284	32.6	1.20	1.49	0.53
Leoniden	234.4	162.1	172.4	0.904	10.3	0.984	71.1	0.45	0.13	0.28
Geminiden	261.0	24.9	325.8	0.906	1.38	0.129	36.7	0.35	0.29	0.23
Ursiden	270.2	52.3	204.6	0.94	5.9	0.84				

Tabel 5-3: Baanelementen van een aantal zwermen (uit: Kresak L.; Porubcan V.; B.A.C. 21 (1970) 153, behalve de baanelementen van Ursiden en Eta-Aquariden. Zie hoofdstuk 4). A is de dispersie in V, B is de dispersie in RAcosDEC en C is de dispersie in DEC.

Zwerm:	RA	DEC	V_{∞}	q	a	e	i	ω	Ω
S-Virginiden	185	-2	30	0.431	2.027	0.783	0.3	287.0	356.4
δ Leoniden	159	+19	26	0.643	2.618	0.747	6.2	259.0	338.1
σ Leoniden	195	-5	23	0.753	2.349	0.663	0.7	247.5	28.2
λ Virginiden N	210	-10	34	0.343	2.630	0.870	2.0	295.0	19.5
λ Virginiden Z	210	-18	27	0.686	6.705	0.895	3.5	72.0	224.5
μ Virginiden	221	-5	31	0.477	3.116	0.831	9.9	280.0	35.0
N-Virginiden	173	5	38	0.234	2.637	0.912	3.5	308.0	333.8
i-Aquariden Z	320	-15	37	0.266	3.967	0.925	0.0	121.5	304.0
i-Aquariden N	347	1	42	0.326	2.000	0.830	4.0	299.7	161.4
α -Capricorniden	304	-10	27	0.592	2.524	0.760	7.1	267.9	125.4
ϵ -Geminiden	102	27	71	0.770	14.895	0.940	173.0	236.7	207.5

Tabel 5-4: Baanelementen van een aantal in de text genoemde zwermen (uit: Lindblad B.A.; Smits. Contr. to Astroph. 12 (1971) 14).

TREFWOORDEN REGISTER

alcohol 30	lineaal 32	tellen 26
antapex 13	maan 29	UT 19
apex 10	magnitude	voedsel 30
apsidenlijn 152	-distributie 47	vuurbol 2
baan 3	- index (r) 47,57	waarneming
baanelementen 152	-gemiddelde	-formulier 24
bewolking 29	- absolute (M) 51	zaklamp 33
bril 29	massa 66	ZHR 54
comfort 31	-distributie 53,66	-curve 8
dauw 31	- index (s) 53	zonslengte 43
DMS 6	metoor 2	zwerm 2,7
-symposium 6	-zwerm 2,7	-kleine 150
eindflare 12	meteoroïde 2	
equinox 44,152	nalichtend spoor 2,37	
excentriciteit 151	-distributie 69	
fotografie 27	-duur 70	
fragmentatie 123	notulant 36	
Y 55, 152	Öpikken 38,48	
gnomonische kaarten 33	perihelium 151	
grensmagnitude 15	-afstand 151	
-correctie 56	-hoek van het 152	
-gebied 18,35	persoonlijke correctie 58	
halve lange as 151	porto 40	
inclinatie 152	precessie 144	
intekenen 26	puntmetoor 38	
kansfunctie 48,50	radiant 3,38	
klassificatie 19	-hoogte 9	
kleur 2,20,37	-correctie 55	
klimmende knoop 152	Radiant 6	
knopenlijn 152	recorder 31	
lengte 38	roken 30	
-van het perihelium 99	slaap 30	
lentepunt 44,152	snelheid 20	
lenzen 30	sporadische metoor 3,10	

INHOUD

Adressen	1	Alpha Capricorniden (27 juli)	103
		Delta Aquariden (29 juli)	106
Enkele begrippen	2	Iota Aquariden (5 augustus) ..	110
		Perseiden (12 augustus)	112
Hoofdstuk 1		Kappa Cygniden (18 augustus) .	117
Inleiding	5	Alpha Aurigiden (1 september)	119
Dutch Meteor Society	6	Draconiden (9 oktober)	120
Wanneer meteoren waarnemen	7	Epsilon Geminiden (20 oktober)	124
		Orioniden (22 oktober)	125
Hoofdstuk 2		Tauriden (3 november)	130
Het doen van visuele waarneming	16	Leoniden (17 november)	133
Na het verschijnen van een meteor ..	25	Phoeniciden (4/5 december) ...	138
Tips bij het visueel waarnemen	29	Geminiden (13/14 december) ...	140
Verzamelen van waarnemingen	40	Ursiden (22/23 december)	146
Hoofdstuk 3		Hoofdstuk 5	
Het verwerken van visuele waarnemingen	42	Appendices	148
Het tijdstip: de zonslengte	42	Kleine zwermen	150
Magnituden en massa distributie	47	Baanelementen	151
Uurtelling: de hoeveelheid materie ..	54		
Nalichtende sporen	69	Trefwoorden register.....	154
Hoofdstuk 4		Inhouds opgave	155
Een zwerm catalogus	71		
Bootiden (3/4 jan.)	72		
Alpha Cruciden (14/15 januari)	76		
Alpha Centauriden (8/9 februari) ...	77		
Virginiden (februari - mei)	79		
Gamma Normiden (13/14 maart)	84		
Delta Pavoniden (29/30 maart)	86		
Lyriden (21/22 april)	87		
Sigma Puppiden (23/24 april)	91		
Eta Aquariden (6 mei)	96		
Daglicht Arietiden (7 juni)	100		
Piscis Australiden (27 juli)	102		