

Magnitudeverdeling, influx en massadistributie van meteorzwermen

Hans Betlem

1. Waarnemingsmateriaal : De Geminiden van 1975

In dit artikel wordt de theorie beschreven, waarmee we uit visuele waarnemingen van voldoende aantal en kwaliteit fysische parameters van meteorzwermen kunnen bepalen. Deze theorie dient als basis voor het visuele uitwerkhandboek, dat op niet al te lange termijn zal verschijnen.

We gaan uit van de uurfrequentie van de zwerm en de waargenomen magnitudeverdelingen. Deze worden omgerekend naar een standaard magnitudenschaal (Zie 1 en 2). Hiertoe is een standaardwaarnemer nodig, welke het referentiemateriaal levert. Een andere mogelijkheid is deze standaardmagnitudedistributies via professionele observatoria te betrekken.

In onze waarnemingen schatten we de helderheden van de waargenomen zwermmeteoren met de grootste zorgvuldigheid en wel met een nauwkeurigheid van ± 1 magnitude. Dit moet nauwkeurig gebeuren omdat de opgetekende magnitudendistributie de basis vormt voor de verdere bewerking van het materiaal. De waarnemingen van de Geminiden van 1975 zijn in tabel 1 samengevat.

Hier zijn de volgende grootheden getabelleerd:

- 1) Waarnemingsperiode
- 2) Datum en UT van het midden van de periode
- 3) Het totaal aantal waarnemers K
- 4) De som van de netto waarnemingstijd Σt en het totaal aantal waargenomen zwermmeteoren Σn
- 5) De gemiddelde waargenomen magnitude m voor deze meteoren
- 6) De ZHIR van de zwerm, dit is de waargenomen uurfrequentie, gecorrigeerd voor de zenitsafstand van de radiant, eventuele bewolking en gereduceerd op één enkele waarnemer.

Fig. 1 geeft de cumulatieve magnitudendistributie N voor de drie verschillende waarnemingsperiodes. Uit de geringe onderlinge verschillen mag geconcludeerd worden, dat de helderheidsschattingen -een uniforme verdeling in de zwerm aannemend- goed reproduceren.

De waargenomen magnitudendistributie van de zwermmeteoren wordt verder gespecificeerd in tabel 2. Wanneer de waarnemers gebruik maken van FEMA-waarnemingsformulieren (Bij de VVS werkgroep Meteoren en bij ondergetekende verkrijgbaar), kunt U Uw waarnemingen direct in deze tabelvorm optekenen.

Periode	Datum	UT	K	Σt	Σn	m	F
I	14 dec 1975	3h00m	1	108	48	1,1	92,9
II	14 dec 1975	5h00m	1	116	49	0,9	110,3
III	15 dec 1975	5h20m	1	76	18	1,1	30,0

Tabel 1 : Samengevatte resultaten van de Geminiden 1975

Periode	I	II	III	Totaal
-4	0	0	0	0
-3	1	0	0	1
-2	1	1	0	2
-1	1	2	1	4
0	7	9	2	18
+1	3	6	2	11
+2	13	14	4	31
+3	11	8	4	23
+4	11	8	5	24
+5	0	1	0	1
Totaal	48	49	18	115

Tabel 2 : Gemiddelde magnituden distributie voor de Geminiden van 1997

2. De influx van een meteorenzwerm

Om de massa influx van de Geminiden te bepalen, dienen we eerst de distributies aan een nader onderzoek te onderwerpen. De waargenomen magnituden distributies van de zwermleden $n(m)$ worden eerst per individuele waarnemer gecorrigeerd voor zijn individuele magnitudenschaal naar een standaardschaal. In het algemeen wordt hiervoor de magnitudendistributie van een standaardwaarnemer aangenomen; hiertoe gebruiken we de formule :

$$M = v m_0 + \mu \quad (1)$$

m_0 zijn de waargenomen magnituden; v en μ zijn de coëfficiënten van de (persoonlijke) magnitudenschaal van de waarnemer, welke uit hun waarnemingen zijn af te leiden.

Na deze correctie kunnen we in tabel 3 de gemiddelde magnitudendistributies $f(m)$ voor elke waarnemingsperiode, gecorrigeerd voor de persoonlijke coëfficiënten, de ZHR en eventuele bewolking samenvatten.

De nu beschikbare waarden $f(m)$ moeten nu verder gecorrigeerd worden voor de positie van de radiant en de zenit attractie . Voor lange waarnemingsperioden zijn dit variabele grootheden!

De magnitudendistributie over de gehele hemel kan worden afgeleid uit de kans

$p(m)$ om een meteor van gegeven helderheid m op een afstand r van het waarnemingsveld te detecteren. Deze zgn. onvolledigheidsfactoren zijn bepaald door Kresáková (1966) (zie 3) uit een groot aantal onder identieke omstandigheden op dezelfde plaats verrichtte observaties.

Teneinde de werkelijke magnitudendistributies te vinden, dienen de waargenomen distributies gecorrigeerd te worden voor zenitsafstand, naar een distributie van absolute magnituden.

Hiertoe verdelen we het gebied rond het zenit in concentrische cirkels met zenitsafstanden z_i voor welke de verschillen tussen de waargenomen magnituden m en de absolute magnituden m_z lopen tot 0,5m, van 0,5m tot 1,5m, van 1,5m tot 2,5m enz. Voor de eerste zone wordt geen correctie toegepast; voor de tweede zone bedraagt de correctie -1m, voor de derde -2m enz. De zenitsafstanden z_i waarvoor geldt:

$\Delta m_i = m - m_z$ volgen uit de formule:

$$z_i = \arccos (0.5 HR^{-1} (2 HR^{-1} + 1 - 10^{0.4 \Delta m_i}) \times 10^{-0.2 \Delta m_i}) \quad (2)$$

Hierin is R de straal van de aarde en H de standaardhoogte waartoe m wordt gereduceerd. Voor de Geminiden wordt een hoogte van 95 km aangehouden.

Na correctie voor de absorptie in de aardatmosfeer vinden we dan de waarden $z_i = 35^\circ,7, 57^\circ,7$ en $68^\circ,8$ overeenkomend met resp. $\Delta m = -0,5m, -1,5m$ en $-2,5m$.

Daar de zwakste meteoren ($m > 5$) niet worden waargenomen, zullen we in de verdere bewerking uitsluitend gebruik maken van die hemelgebieden, waarvoor de correctie kleiner dan $-1m$ is, ofwel: we beperken de berekeningen tot de eerste twee zones met $z_1 = 35^\circ,7$ en $z_2 = 57^\circ,7$.

Deze twee gebieden aan de hemel omspannen door genoemde zones verhouden zich tot de gehele hemelbol als de verschillen tussen de cosinussen van $z_{0,1}$ en $z_{1,2}$. Deze getallen zijn resp. 0.188 en 0.278.

De totale uurfrequenties $F(m)$ van de meteoren met absolute magnituden m_z in het gebied S_0 tussen het zenit en de ring met $z_2 = 57^\circ,7$ worden dan :

$$F(m_z) = 0.188 f(m) p(m) + 0.278 f(m+1) p(m+1) \quad (3)$$

In deze formule is $f(m)$ de gemiddelde magnitudendistributie voor meteoren met magnitude m en $p(m)$ de waarschijnlijkheid om deze meteor op te merken.

De op deze wijze berekende waarden $F(m_z)$ zijn in tabel 4 samengevat. Op deze wijze hebben we een uniforme verdeling van meteoren aannemend, langs statistische weg voor de verschillende hoogten gecorrigeerd! Bij voldoende waarnemingen is het doen van hoogteschattingen boven de horizon strikt genomen dus niet eens noodzakelijk!! We hebben nu de absolute magnitudendistributies voor het gehele gebied S_0 dat wil zeggen tot een zenitsafstand van $57^\circ,7$

M	I	II	III
-4	0	0	0
-3	1,9	0	0
-2	1,9	2,3	0
-1	1,9	4,5	1,7
0	13,5	20,3	3,4
+1	5,8	13,5	3,4
+2	25,2	31,5	6,8
+3	21,3	18,0	6,8
+4	21,3	18,0	8,3
	92,8	110,4	30,4

Mz	I	II	III
-4	0,5	0	0
-3	0,9	0,6	0
-2	0,9	1,7	0,5
-1	4,1	6,5	1,3
0	4,6	8,5	1,8
+1	11,4	15,7	5,5
+2	18,6	18,5	5,6
+3	22,8	19,3	8,3
+4	10,0	24,8	3,9
+5	0	0	0
$\Sigma F(M_z)$	73,8	95,6	26,9
$M_{\text{totaal}} \text{ (gr)}$	51,0	49,5	9,5
$M_{\text{TH}} \text{ (kg/h)}$	56,7	51,2	14,9

Tabel 3 : Voor ZHR gecorrigeerde waarden.

Tabel 4 : $F(M_z)$

Het oppervlak van S_0 volgt uit :

$$S_0 = \pi \sin^2 z \left(((R+H)^2 - R^2 \sin^2 z)^{1/2} - R \cos z \right)^2 = 6.84 \times 10^4 \text{ km}^2 \quad (4)$$

Voor de gehele aarde geldt als trefvlak :

$$S_E = k \pi (R+H)^2 \quad \text{met} \quad k = 1 + g_H (R + H) \times V_G^{-2} \quad (\text{Levin 1956}) \quad (5)$$

Voor de Geminiden : $V_G = 35 \text{ km/sec}$; $H = 95 \text{ km}$ en $g_{95} = 9.52 \times 10^{-3} \text{ km/s}^2$

levert dit ons : $S_E = 1.38 \times 10^8 \text{ km}^2$

Uit deze getallen volgt, dat we in het waargenomen gebied tot $z = 57^\circ.7$ ongeveer 1/2000 gedeelte waarnemen van alle ingevangen meteoren helderder dan magn. + 5. Voor een meteor met absolute magnitude m kunnen we een massa $M(m)$ aannemen volgens de formule :

$$M(M_z) = c_1 \times 10^{-0.4 m z} \quad (6)$$

Jacchia (1967) leidde een massaformule af, waarin de massa van een meteoroïde van visuele magnitude 0 kan worden berekend als functie van de initiële snelheid en van de zenitsafstand van het schijnbare radiant. Voor de Geminiden bedraagt deze waarde 0.8 gram. Substitutie in (6) levert de gevraagde massaschaal.

De totale massa influx M_T over het waargenomen gebied kan dan eenvoudig worden berekend:

$$M_T = \sum F(m_z) M(m_z) \quad (7)$$

De laatste kolommen van tabel 4 geven deze waarden voor de Geminiden van 1975. M_T is hier de totale massa influx per uur (in gram); m_z is gebruikt tot magn. +5. We zien hier een vrijwel constante influx in de nacht van het maximum en een drastische afname de nacht erna.

Uit de totale influx (in kg), het aantal waargenomen meteoren, de waarnemingsduur, een aangenomen snelheid volgen nu direct het aantal meteoren per seconde per km^2 en de massa influx per seconde per km^2 .

Daar we het oppervlak S_0 reeds kenden, volgt nu direct de dichtheid van de zwerm, te weten het aantal deeltjes per km^3 en de massa per km^3 .

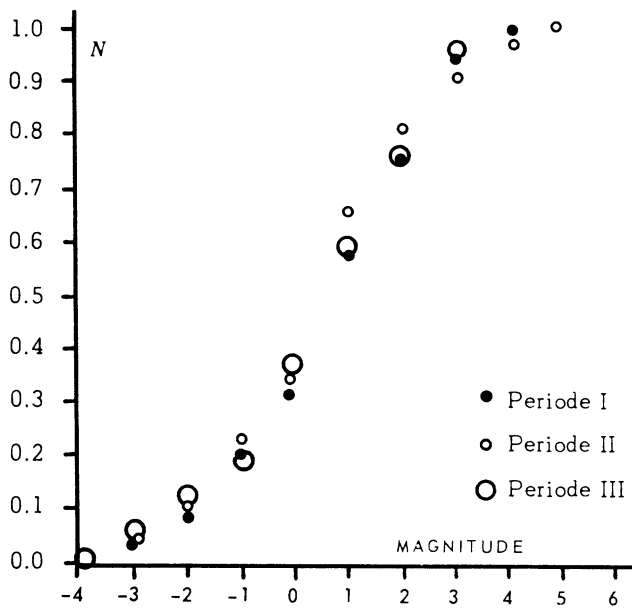
Voor de Geminiden van 1975 zijn deze resultaten samengevat in tabel 5.

Als aardigheidje kunnen we dan nog de onderlinge afstand tussen de meteoroiden bepalen.

Formule 7 levert ook nog de totale uur influx van de zwerm op de gehele aarde. Voor de Geminiden van 1975 levert dit een massa influx van ongeveer 54 kg/h voor de periode rond het maximum. Deze waarde is in fraaie overeenstemming met de door Porubcan en Stohl gevonden waarden voor de Geminiden van 1974 (ca. 70 kg/h)

Slot

Uit het voorgaande mag geconcludeerd worden, dat uit visuele mits voldoende lang en nauwkeurig verricht, bijzonder veel gegevens van een zwerm zijn af te leiden. Veel materiaal ligt nog gereed voor bewerking : Perseïden van 1972, 1974, 1975, 1977 en 1978 alsmede de Geminiden van 1972 en 1974 vormen de omvangrijke hoofdschotel van het nog te verrichten rekenwerk, waarvan de resultaten in dit blad zullen verschijnen. Ook zijn veel gegevens van de VVS werkgroep geschikt voor bewerking. Deze werden gepubliceerd in de reports 1977 en 1978. Met name het Perseïdenmateriaal zal met grote voortvarendheid worden bewerkt. Of er duidelijke aanwijzingen zijn, dat de influx der Perseïden geleidelijk aan toeneemt, zal uit deze berekeningen moeten blijken.



Figuur 1 : Cumulatieve magnituden distributie N over de verschillende waarnemingsperioden.

Periode		I	II	III
Flux	n ($\text{km}^{-2} \text{s}^{-1}$)	$16,7 \times 10^{-8}$	$20,1 \times 10^{-8}$	$8,6 \times 10^{-8}$
	gr ($\text{km}^{-2} \text{s}^{-1}$)	$11,4 \times 10^{-8}$	$10,3 \times 10^{-8}$	$3,0 \times 10^{-8}$
dichtheid	n (km^{-3})	$4,6 \times 10^{-9}$	$5,5 \times 10^{-9}$	$2,3 \times 10^{-9}$
	gr (km^{-3})	$3,1 \times 10^{-9}$	$2,8 \times 10^{-9}$	$8,2 \times 10^{-10}$
gemiddelde afstand tussen de deeltjes onderling (km)		ca. 600	ca. 570	ca. 760

Tabel 5 : Flux en dichtheid van de Geminiden 1975.

Referenties

- 1) Stohl,J; Millman,P.M.: (1973), Bull. Astron. Inst. Czech. **24**,321
- 2) Lindblad, B.A.;Stohl, J. (1977), Bull. Astron. Inst. Czech. **28**,321
- 3) Kresáková, M.:1966, Contr. Skalnaté Pleso Obs. **3**,75
- 4) Porubcan,V.; Stohl,J. (1979), Bull. Astron. Inst. Czech. **30**,65
- 5) Lovell,A.C.B.: Meteor Astronomy, Oxf. Un. Press. 1954