

Uitzonderlijk hoge oplichthoogten en een onbekend stralingsmechanisme bij de Leoniden 1998 (1)

Hans Betlem¹ en Pavel Spurny²

1. Lederkarper 4, 2318 NB Leiden

2. Astronomical Institute CAS, 251 65 Ondřejov, Czech Republic

Inleiding

Tijdens de Leonidenactie 1998 in China draaiden twee video simultaanprojecten. Eén simultaanset werkte op de posten Delingha en Ulan en een tweede set werkte simultaan tussen de posten Xing Long en Lin Ting Kou [1]. De Xing Long camera werd bediend door Pavel Spurný, de Lin Ting camera door Klaas Jobse. Op Xing Long was verder nog een all-sky video systeem actief waarmee tijdstippen van heldere meteoren werden vastgelegd.

Honderden zeer heldere meteoren en vuurbollen werden door de all-sky video camera vastgelegd.

Van enkele zeer heldere vuurbollen werden de all-sky video beelden gebruikt in de trajectberekeningen omdat de meteoren op de video camera's hoger in de atmosfeer leken te beginnen dan op de fotografische opnamen. Uit een eerste globale analyse bleek, dat het hoogteverschil aanzienlijk was. Een zeer heldere (-12.5) Leonide bleek op de all-sky video zelfs een kleine 50 kilometer hoger te beginnen. Deze spectaculaire ontdekking was de aanleiding tot een nader onderzoek van alle met behulp van de "gewone" video systemen met 85 mm objectieven opgenomen meteoren. In de lijst werd gezocht naar mogelijke beginpunten van zeer heldere meteoren die fotografisch simultaan zijn vastgelegd.

Data

De toegepaste video systemen bestonden uit een Panasonic NV-S88E video camcorder, uitgerust met een tweede generatie Russische Dedal 41 beeldversterker voorzien van een Arsat 1.4-50 mm objectief met een gezichtsveld van 25 graden te Xing Long en een Mullard XX1332 beeldversterker met Canon f/1.2-85 mm asferisch objectief op station Lin Ting Kou.

Zorgvuldig nalopen van de lijsten van Pavel Spurný en Klaas Jobse bracht in totaal zeven van zulke gevallen aan het licht. Alle meteoren verlaten voortijdig het beeldveld en even later licht het beeld op als de meteor het vuurbolstadium (buiten beeld) bereikt.

Een onderzoek van Jiri Borovicka [2] laat zien, dat de systemen gevoelig zijn in het spektraalgebied tussen 330 nm en 880 nm.

De gefotografeerde trajecten in de atmosfeer werden eerst vergeleken met de all-sky video beelden en er kon worden vastgesteld, dat deze laatste

veel hoger in de atmosfeer startten ondanks het gegeven, dat beide systemen ongeveer dezelfde grensmagnitude hadden. Dit gegeven werd voor 13 meteoren geconstateerd waarna de video beelden met een kleiner gewicht zijn meegenomen in de simultaanberekeningen om een indruk te krijgen van de video oplichthoogten. Het zijn deze waarden die eerder gepubliceerd werden [3]. Het zijn de eerste publicaties van zulke extreem hoge beginhoogten voor meteoren.

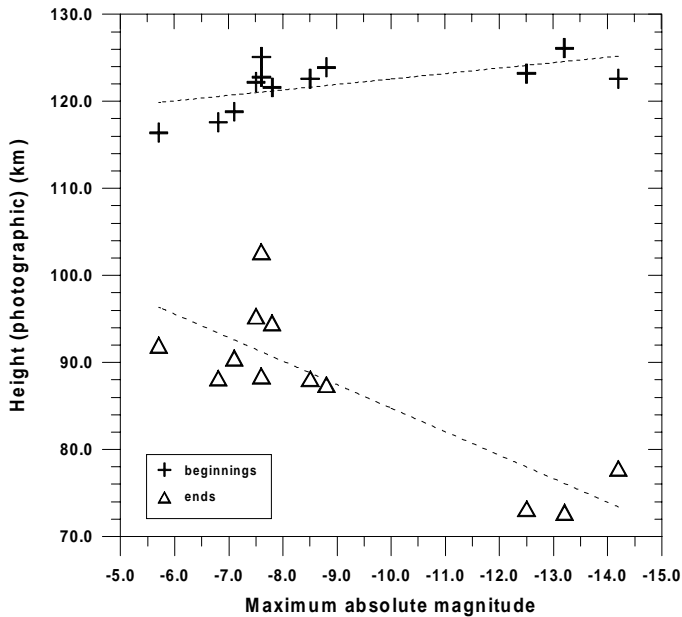
Omdat deze waarden zoveel hoger in de atmosfeer zitten dan de standaard richthoogtes voor de simultane video opnamen is het nauwelijks te verwachten, dat er video simultaanopnamen zijn van extreem hoog beginnende vuurbollen. Echter, beginpunten van zulke meteoren zijn wel op de video opnamen te verwachten. Een systematisch onderzoek van de databases leverde zeven van zulke gevallen op. Alleen LN98002 startte buiten het gezichtsveld van de camera; van de andere zes vuurbollen zijn de exacte beginhoogtes vastgelegd. Alle opna-

men dateren uit de zgn. "vuurbollen nacht", de nacht van 16 op 17 november 1998.

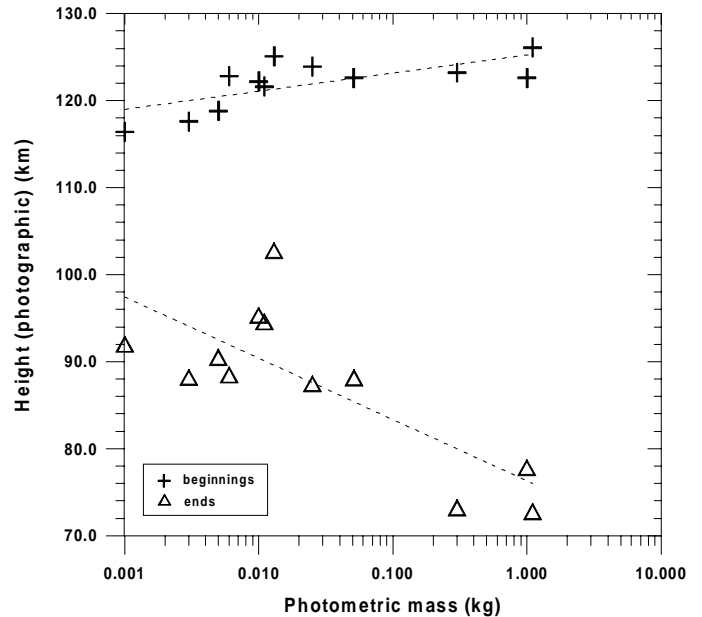
De fotografische opnamen zijn uitgemeten met het door Marc de Lignie ontwikkelde Astrorecord programma (versie 3.2); de video opnamen zijn uitgemeten met een semi-automatisch meetprogramma dat te Ondřejov ontwikkeld is door Pavel Kooten. Deze video opnamen werden aan de fotografische sets toegevoegd. De nauwkeurigheid van deze video opnamen bedroeg ongeveer 2 boogminuten; ongeveer een factor 3 minder goed dan de standaard reductie van een fotografische opname met een 50 mm objectief.

Fotografisch werk Leoniden 1995, 1997 en 1998

Het fotografisch materiaal van de Leoniden 1995, 1997 en 1998 is inmiddels in een drietal artikelen gepubliceerd.[4,5,6]



Figuur 1 : Begin- en eindhoogtes van fotografische Leoniden als functie van de absolute fotografische magnitude. Leoniden 1998 (subset)



Figuur 2 : Dezelfde gegevens als in figuur 1 maar dan uitgezet als functie van de absolute fotografische massa. Alleen de gefotometreerde Leoniden zijn gebruikt.

De baanelementen en trajectgegevens zijn toegevoegd aan de DMS fotografische database die via de DMS ftp site gedownload kan worden. [7] De figuren 1 en 2 geven grafisch de gevonden oplicht- en eindhoogtes van gefotografeerde Leoniden als functie van resp. de berekende fotometrische massa (figuur 1) en de absolute magnitude (figuur 2). Voor zeer heldere vuurbollen is er een bovenlimiet voor het fotografisch gebied van ongeveer 130 km. Boven deze waarde is de dichtheid van de atmosfeer zo gering, dat de productie van straling volgens de gangbare stralingstheorieën niet mogelijk is. De beide curven lijken sterk op elkaar. De oplichthoogte lijkt maar weinig afhankelijk van de massa. De eindhoogten zijn veel sterker afhankelijk. De helderste Leoniden dringen ruim 20 km dieper door dan de zwakkeren. Een Leonide (vuurbol) met een initiële massa van 1 kg dringt door tot een hoogte van 72 km wat nog altijd veel hoger is dan de eindhoogte van een lid van een andere zwerm met gelijke massa. De hoge oplichthoogtes van de Leoniden worden maar ten dele veroorzaakt door hun hoge initiële snelheid. Ook de porieuze structuur van de Leoniden,

waardoor ze snel uiteenvallen (multi fragmentation) is hier mede oorzaak van. Deze multi fragmentation komt onder meer tot uiting in de lichtcurven van Leoniden die over het algemeen vlak verlopen. Leoniden vertonen zelden flares.

Oplichthoogtes van de all-sky video.

Figuur 3 toont de beginhoogtes van 12 vuurbollen uit de roemruchte vuurbollen nacht, 16/17 november 1998, opgenomen vanuit Xing Long, China. Er is een fraai verband tussen oplichthoogte en absolute magnitude. Verder zien we, dat de bepaalde oplichthoogtes aanzienlijk hoger liggen dan de 130 km uit de fotografische limiet. We hebben hier kennelijk te maken met een stralingsmechanisme waarvoor de fotografische camera's niet gevoelig zijn. Bij de helderste vuurbol werd een oplichthoogte van 195 km met de all-sky video vastgesteld!

Ter vergelijking zijn enkele Japanse waarden van de Leoniden 1997 gegeven. De hier gevonden waarden leiden aanvankelijk tot ongeloof. Het is ook ongelooflijk je te realiseren, dat het met de video camera vastgelegde traject ruim twee maal zo lang is als

het fotografische terwijl de 130 km grens voor fotografie nauwelijks afhankelijk is van de helderheid van de vuurbol. De 130 km grens is kennelijk een magische limiet waarboven zich andere stralingsmechanismen afspelen dan eronder. In het tweede deel van dit artikel komen we hier op terug.

Figuur 4 toont de oplichthoogtes als functie van de initiële fotometrische massa voor TV en fotografische meteoren. In tegenstelling tot bij de fotografie zien we een sterke afhankelijkheid van de oplichthoogte van de initiële massa. Hoe deze straling tot stand komt is vooralsnog een raadsel.

Tabel 1 geeft de trajectgegevens voor de 12 helderste simultaan gefotografeerde vuurbollen vanuit Xing-Long en Lin Ting Kou.

Tabel 2 toont dezelfde reeks vuurbollen maar dan ter vergelijking de fotografische naast de video gegevens van de all-sky video.

Conclusies

De gevonden resultaten tezamen met de gevoeligheidskarakteristieken van de video camera's geven een sterke

aanwijzing, dat meteoren een sterke infra rood emissie hebben op zeer grote hoogtes in de atmosfeer. Voor snelle meteoren als de Leoniden ligt deze emissie ruwweg in het hoogtegebied tussen de 130 km en 200 km hoogte. Op welke wijze deze straling tot stand komt in een zo ijl medium is tot op heden nog een raadsel. Canadeese modellen [8] geven als mogelijkheid, dat vluchtige organische moleculen verantwoordelijk zouden kunnen zijn voor deze straling zeer hoog in de atmosfeer.

Toekomstig onderzoek zal zich dan ook meer moeten richten op zeer hoge simultaanprojecten die bij voorkeur uitgevoerd zouden moeten worden met instrumenten met nog betere infrarood eigenschappen.

Tot slot

In een vervolgartikel : Structuren in de videobeelden op grote hoogten en de introductie van de drie fasen van het uiteenvallen/verbranden/verdammen van de meteoroiden.

De in dit en in het vervolgartikel gepubliceerde resultaten zijn inmiddels in een vervolgartikel voor Meteoritics and Planetary Science samengevat [9] Zij zijn naast de overige fotografische- en video resultaten de meest spectaculaire ontdekking uit de Sino

Dutch Leonid expedition in 1998. Deze expeditie is tot stand gekomen dankzij financiële ondersteuning van het NASA Planetary program, Het Kerkhoven Bosschafonds van de Leidse Sterrenwacht, de Stichting Physika (Dutch Physics Foundation) en de Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen (KNAW). De software die gebruikt is bij de reductie van de Leoniden 1998 is grotendeels ontwikkeld door Pavel Spurný en Zdenek Ceplecha. Het meetprogramma Astrorecord is ontwikkeld door Marc de Lignie. Pavel Kooten ontwikkelde en testte het automatische meetprogramma voor video meteoren.

De Chinese Academy van Wetenschappen (CAS) zorgde voor logistiek en onderdak en droeg zorg voor tijdelijke invoer van de apparatuur.

Referenties

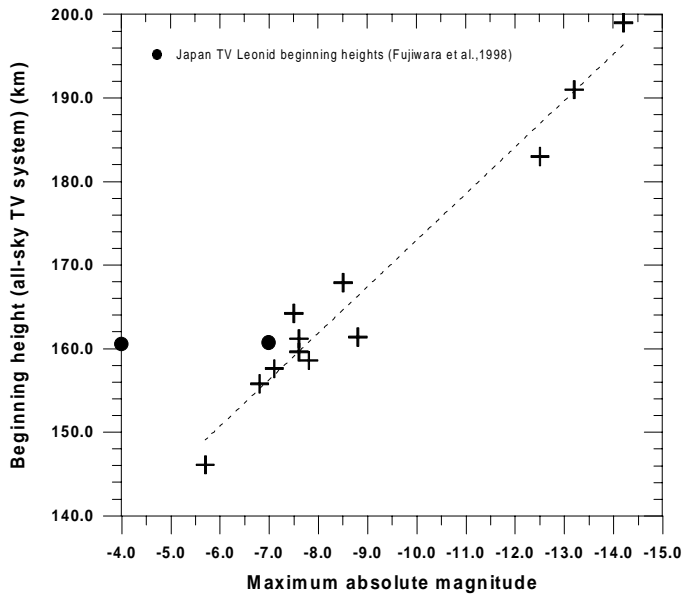
- 1] Betlem,H.: Leonidenactie te Xing Long. Radiant **21**(1999),1
- 2] BOROVICKA, J., STORK R., AND BOCEK J. (1999) First results from video spectroscopy of 1998 Leonid meteors. *Meteorit. Planet. Sci.* **34**, 987-994.
- 3] Spurný,P.,Betlem,H.,van 't Leven,J.,Jenniskens,P.: (2000) Atmospheric behavior and ex-

treme beginning heights of the 13 brightest photographic Leonids from the ground-based expedition to China. *Meteoritics and Planet. Sci.* **35**,243-251

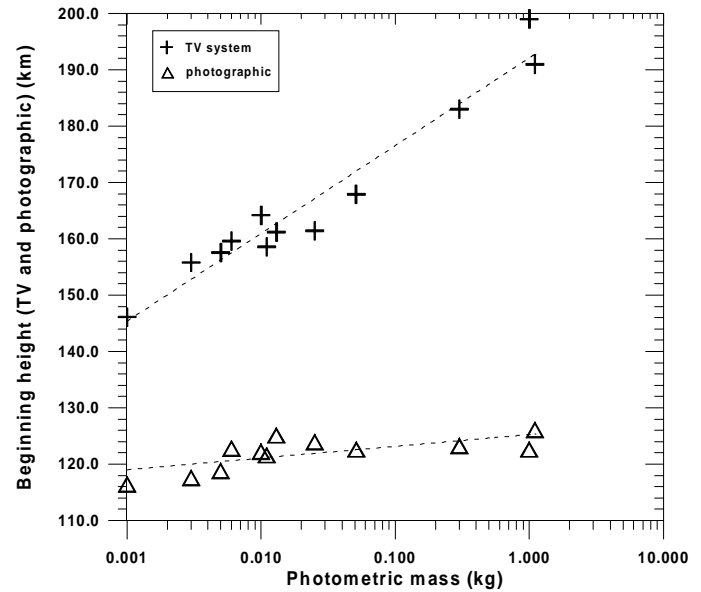
- 4] Betlem,H.,Ter Kuile,C.,Van 't Leven,J.,de Lignie,M.,Bellot,L.R.,Koop,M.,Angelo,C.,Wilson,M.,Jenniskens,P. (1997) Precisely reduced meteoroid trajectories and orbits from the 1995 Leonid meteor outburst. *Planet.Space.Sci.***45**,853-856
- 5] Jenniskens,P.,Betlem,M.: Massive Remnant of Evolved Cometary Dust Trail Detected in the Orbit of Halley-Type Comet 55P/Tempel-Tuttle. *The Astrophysical Journal*, **531**:1161-1167, (2000 March 10)
- 6] BETLEM H., JENNISKENS P., VAN'T LEVEN J., TER KUILE C., JOHANNINK C., HAIBIN Z., CHENMING L., GUANYOU L., JIN Z., EVANS S., AND SPURNÝ P. (1999) Very precise orbits of 1998 Leonid meteors. *Meteorit. Planet. Sci.* **34**, 979-986.
- 7] DMS anonymous ftp site : strw.leidenuniv.nl/ftp1/pub/betlem/orbits
- 8] Murray,I.cs. *Meteorit.Planet.Sci.* (submitted)
- 9] Spurný,P.;Betlem,H.: *Meteorit.Planet.Sci.* (submitted)

Meteor No.	Time (UT)	N_i	V_{inf} (km/s)	M_{max}	m_{inf} (kg)	PE / Type	H_B (km)	H_E (km)	L_{ph} (km)	t_{ph} (s)	Slope (deg)
98002	16.69212	3	71.80	- 7.6	0.013	-6.40/IIIB	128.9	102.8	116.6	1.62	12.46
98003	16.69326	2	71.21	- 8.5	0.51	-5.72/IIIB	126.9	88.1	152.2	2.14	14.19
98008	16.73461	4	71.7	- 7.8	0.011	-6.26/IIIB	121.6	94.6	61.9	0.86	25.67
98011	16.75537	3	72.2	- 7.5	0.01	-6.18/IIIB	122.2	95.3	54.5	0.76	29.41
98012	16.76153	5	71.8	- 8.7	0.025	-5.80/IIIB	123.9	87.5	68.4	0.95	31.91
98015	16.77279	3	71.9	- 7.1	0.005	-5.82/IIIB	118.8	90.5	48.5	0.68	35.50
98020	16.80541	3	70.5	- 7.6	0.006	-5.78/IIIB	122.8	88.5	48.8	0.69	44.52
98023	16.81479	6	71.55	- 12.5	0.3	-5.43/IIIA	124.7	73.2	70.9	0.99	46.39
98041	16.89353	4	71.8	- 13.2	1.1	-5.79/IIIB	134.7	73.1	67.0	0.93	66.82
98043	16.90470	3	71.3	- 6.8	0.003	-5.78/IIIB	119.8	87.6	34.7	0.49	67.84
98044	16.90594	3	71.5	- 14.4	1.0	-6.08/IIIB	126.5	77.6	52.8	0.74	67.65
98045	16.90609	4	71.7	- 5.7	0.001	-5.87/IIIB	116.4	92.0	22.1	0.31	69.25

Table1. Geophysical data on very bright Leonids photographed in the Hebei network on November 16, 1998



Figuur 3 : Beginhoogtes van Leoniden vuurbollen, opgenomen met het all-sky video systeem f/2.8-15 mm als functie van de fotometrische absolute magnitude. Ter vergelijking zijn twee waarden van Japanse video vuurbollen (Leoniden 1997) gegeven.



Figuur 4 : Oplichthoogtes voor video (kruisjes) en fotografische systemen (driehoekjes) voor de Leoniden 1998. De starthoogte voor het video systeem (Infra Rood) is veel sterker afhankelijk van de massa, dan de zichtbare oplichthoogte in het fotografisch gebied (120 – 130 km)

Meteor No.	M_{\max}	m_{inf} (kg)	$H_{\text{B(PH)}}$ (km)	$H_{\text{B(TV)}}$ (km)	H_{E} (km)	L_{TV} (km)	$R_{\text{B(TV)}}$ (km)
98002	- 7.6	0.013	125.1	161	102.8	236	161
98003	- 8.5	0.51	122.6	168	88.1	301	321
98008	- 7.8	0.011	121.6	159	94.6	145	252
98011	- 7.5	0.01	122.2	164	95.3	138	165
98012	- 8.7	0.025	123.9	161	87.5	138	213
98015	- 7.1	0.005	118.8	158	90.5	114	180
98020	- 7.6	0.006	122.8	160	88.5	101	198
98023	- 12.5	0.3	123.2	183	73.2	151	183
98041	- 13.2	1.1	126.1	191	73.1	128	241
98043	- 6.8	0.003	117.6	156	87.6	73	156
98044	- 14.4	1.0	122.6	199	77.6	131	200
98045	- 5.7	0.001	116.4	146	92.0	58	178

Table 2. Height scales determined from the photographic and TV observations for the brightest Leonids observed in the Hebei network during the night on November 16, 1998