

# Leonidit 2022 ennusteet ja havainnot

Aurinkokuntatapaaminen 2023, Ursan Meteoriryhmä, Markku Nissinen

# Esityksen sisältö

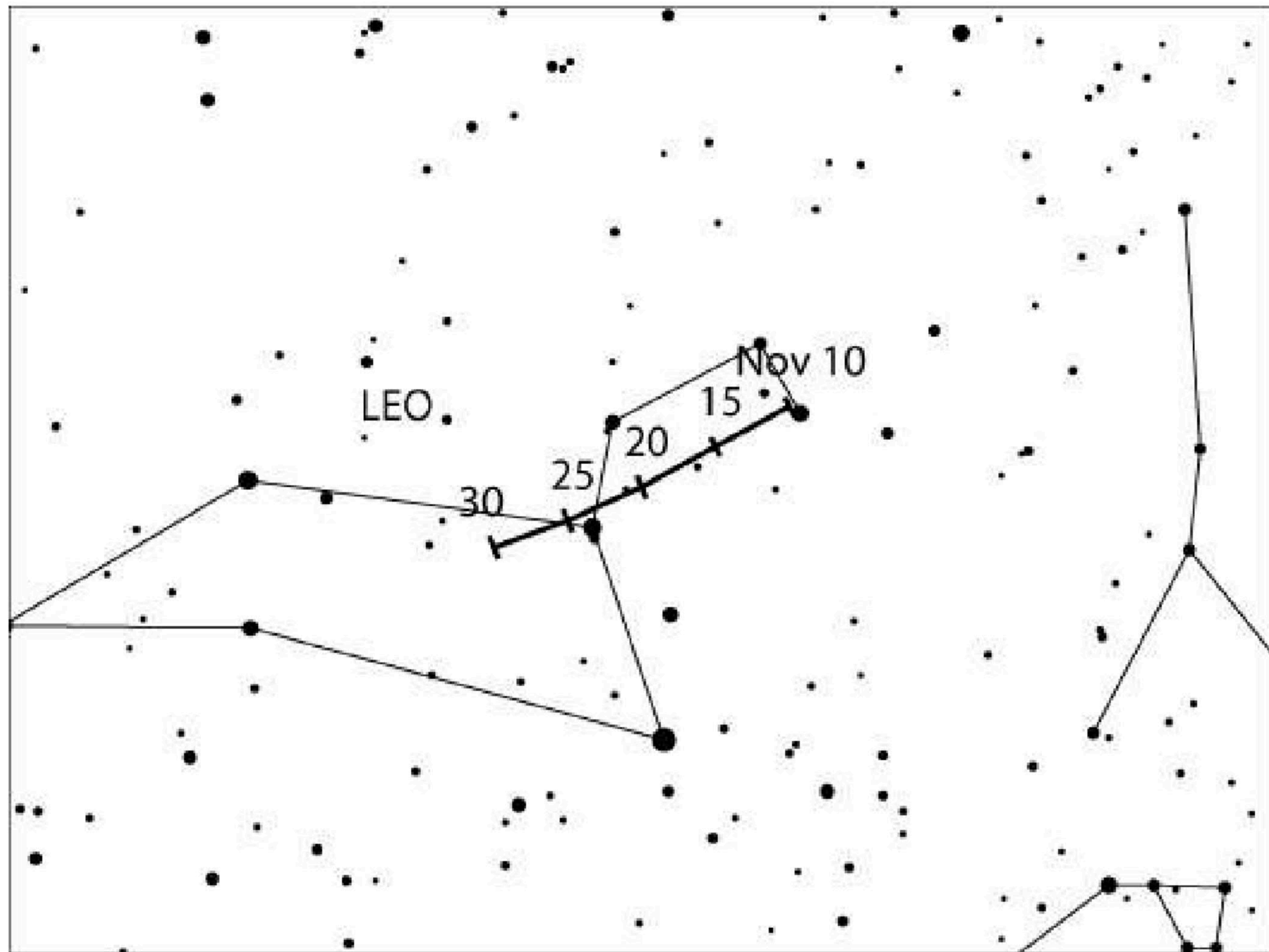
- Yleistä asiaa Leonideista.
- Yleistä asiaa ennusteista.
- Tarkempaa asiaa ennusteista.
- Havaintotuloksia ja vertailua ennusteisiin ja havaintoihin.
- Yleistä asiaa Lyytisen mallista.
- Leikkimielinen ”Löytyykö vastauksia”?

# Yleistä Leonideista

- Leonidit ovat komeetasta 55P Tempel-Tuttle irronnutta pölymateriaalia.
- Komeetta oli viimeksi Auringon lähellä vuonna 1998.
- Tällä hetkellä se on kauimmaisessa ratansa pisteessä.
- Komeetta on tehnyt jo niin monta kierrosta, että siitä irronnutta pölyä on niin paljon, että joka marraskuu näemme Leonidien meteoriparven meteoreja.

# Yleistä Leonideista

- **17.11.2022 klo 23 UT maapallo kulki tiheimmän ns. Vuosittaisen aktiivisuuden aiheuttavan pölykeskittymän läpi.**
- Aktiivisuus tälle vuotuiselle maksimille oli arvioitu suunnilleen  $ZHR = 15$ .
- Eli hyvissä olosuhteissa saattoi nähdä maksimin aikana suunnilleen 15 Leonidia tunnin havaintojakson aikana, jos Leonidien radiantti olisi ollut zeniitissä ja peitteisyyttä ei ole havaintopaikassa.
- Tämän lisäksi oli ennustettu huomattavan suurta aktiivisuutta, jonka oli ennustettu aiheutuvan lähinnä 1733 vuoden vanasta.



# Ennusteita Leonideille 2022

- Vanan 1733 maksimin oli ennustettu olevan **19.11.2022 klo 6 UT - 6.30 UT.**
- Tämä olisi ollut nähtävissä itäisessä USA:ssa ja Etelä-Amerikassa.
- Kirkkaita Leonideja oli ennustettu mahdollisesti myös näkyvän paljonkin.
- Kuu häyttasi jonkin verran visuaalihavaintoja.

# Ennusteita Leonideille 2022

- Maslov (2007) ennusti, että maksimi esiintyisi **19.11.2022 klo 6 UT**.
- Partikkeleilla olisi negatiivinen lähtönopeus (high negative ejection velocity).
- Leonideja voisi näkyä **ZHR = 200+**.
- Sato (2021) ennusti, että maksimi esiintyisi **19.11.2022 klo 6.20-6.27 UT**.
- **ZHR = 50+**
- Pöly olisi ennusteen mukaan keskittynyt (concentrated).

# Ennusteita Leonidit 2022

- Vaubaillon (2021). Vuoden 1600 vana.
- Maksimi **18.11.2022 klo 7 UT**. Aktiivisuus ennusteen mukaan pieni (weak).
- Maslov (2007). Vuoden 1800 vana.
- Maksimi **21.11.2022 klo 15 UT**. Ennustettu aktiivisuus pieni (weak).



# Maslowin ennusteista (2007)

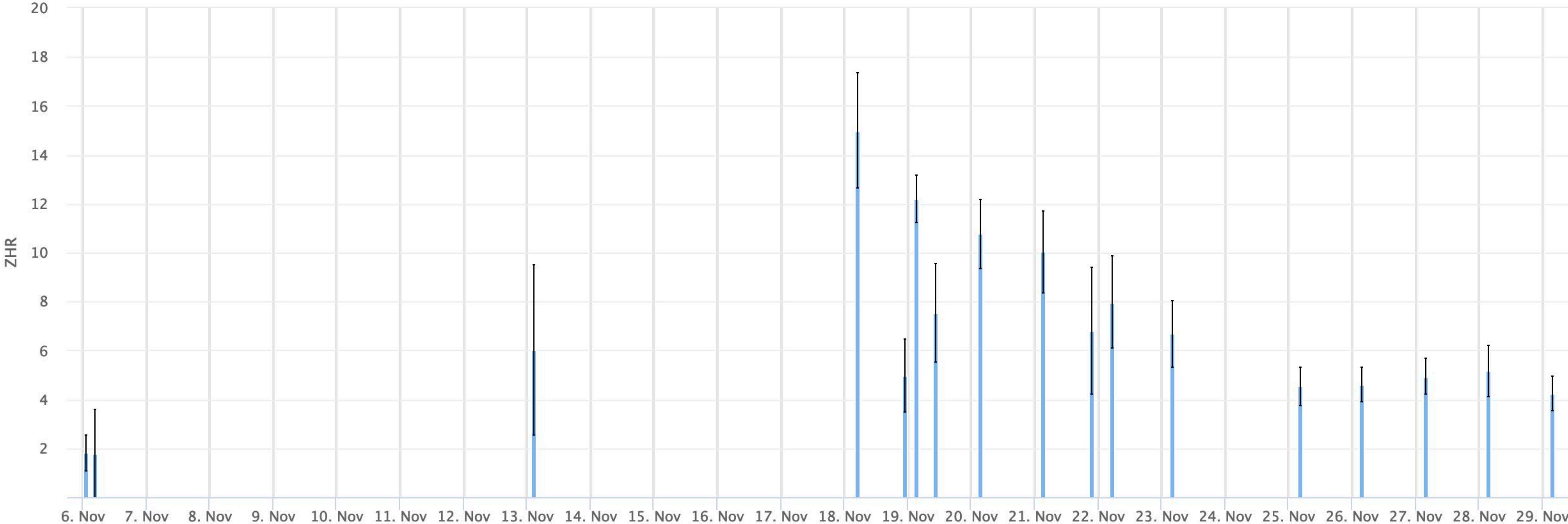
- Leonids predictions for the period 2001-2100.
- Perihelissä tangentiaalinen lähtönopeusjakauma, käsittääkseni 0 - 100 m/s.
- Siis plus / miinus lähtönopeus (tangentiaalinen).
- 30 kierrosta menneisyydessä ja 2 tulevaisuudessa otettu mukaan.
- Lähtönopeusjakauma -50 .. 100 m/s - -10 .. 20 m/s erilainen jakauma eri vanoille.
- 1733 janalle käsittääkseni lähtönopeusjakauma -30 ... 50 m/s.
- Auringon säteilypaine on mallinnettu käsittääkseni.
- Ei-gravitationaalisia efektejä ei ole käsittääkseni mallinnettu.

# Havaintotuloksia Leonidit 2022

- IMO:n Leonids 2022 campaign sivulla on visuaalihavaintojen tulokset Leonideista 2022.
- Havaitsijoita 19.
- ZHRmax = 15.
- Populaatio-indeksi  $e = 2,5$ .

# Leonids 2022 ZHR Graph

Corrected hourly meteor rate



UT Date and Time

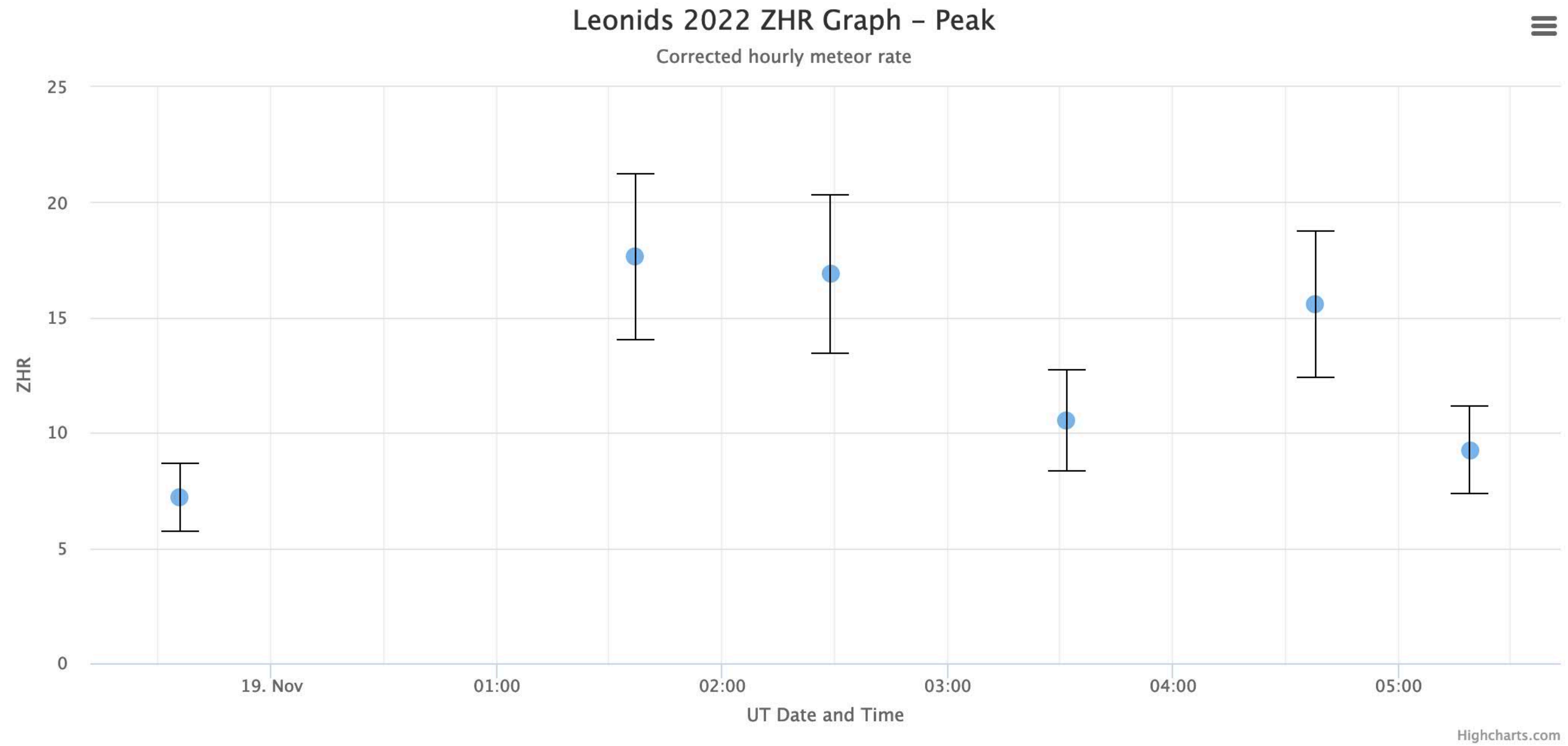
Below are the 17 intervals created from the observations for the calculation of the ZHR

UTC Time ↴	Solarlon ↴	# of intervals ↴	nLEO ↴	ZHR ↴	error	Particle Density ↴
2022-11-06 01:18	223.295	8	5	1.81	±0.74	4 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-06 04:30	223.428	1	0	1.79	±1.79	4 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-13 02:37	230.378	2	2	6.01	±3.47	12 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-18 05:04	235.517	11	39	15.00	±2.37	29 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-18 22:57	236.268	36	10	4.97	±1.50	10 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-19 03:18	236.451	74	155	12.20	±0.98	24 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-19 10:28	236.753	6	13	7.52	±2.01	15 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-20 03:35	237.472	13	57	10.76	±1.41	21 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-21 03:10	238.464	9	35	10.04	±1.67	20 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-21 21:20	239.229	6	6	6.81	±2.57	13 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-22 05:20	239.566	3	17	7.98	±1.88	16 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-23 03:55	240.516	6	23	6.69	±1.37	13 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-25 04:23	242.558	9	32	4.53	±0.79	9 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-26 03:42	243.541	12	42	4.60	±0.70	9 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-27 03:46	244.556	11	43	4.93	±0.74	10 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-28 03:39	245.564	7	24	5.16	±1.03	10 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-29 03:37	246.575	10	35	4.25	±0.71	8 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>

The reported intervals are automatically added together into the bins shown above, based on the number of meteors and the distribution of the intervals. For each bin, the following parameters are computed:

- **UTC Time** is the averaged centre of the reported intervals in Universal Time,
- **Solarlon** is the astronomical position of the earth relative to the sun at the above time (equinox J2000.0),
- **# of intervals** is the number of reported periods (or intervals) used,
- **nLEO** is the number of Leonids observed in those intervals,
- **ZHR** is the Zenithal Hourly Rate, defined as  $(1 + \sum n_{GEM}) / \sum (T_{eff}/C)$  where  $T_{eff}$  is the effective observing time and  $C$  is the total correction coefficient for limiting magnitude, clouds and zenith correction  $1/\sin(hR)$ ,
- **Particle density** is the approximate number of particles (meteoroids) causing meteors brighter than magnitude +6.5 per billion cubic kilometer (i.e., a cube with 1000 km edge length). The ZHR depends on this density (which can be variable) and the velocity (which is roughly constant) of the meteoroid stream. For more information about the computation method, see the references.,

The graph below shows the ZHR (Zenithal Hourly Rate) at the peak date.  
**ZHRmax = 17.65** based on **136 Leonids** grouped into **6 intervals**, assuming population index  $r = 2.5$ .



Below are the 6 intervals created from the observations for the calculation of the peak ZHR

UTC Time ▾	Solarlon ▾	# of intervals ▾	nLEO ▾	ZHR ▾	error	Particles Density ▾
2022-11-18 23:35	236.295	41	23	7.19	±1.47	14 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-19 01:36	236.380	17	23	17.65	±3.60	35 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-19 02:28	236.416	9	23	16.90	±3.45	33 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-19 03:31	236.460	8	22	10.53	±2.20	21 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-19 04:37	236.507	5	23	15.58	±3.18	31 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>
2022-11-19 05:19	236.536	10	22	9.26	±1.93	18 / 10 <sup>9</sup> ·km <sup>3</sup>

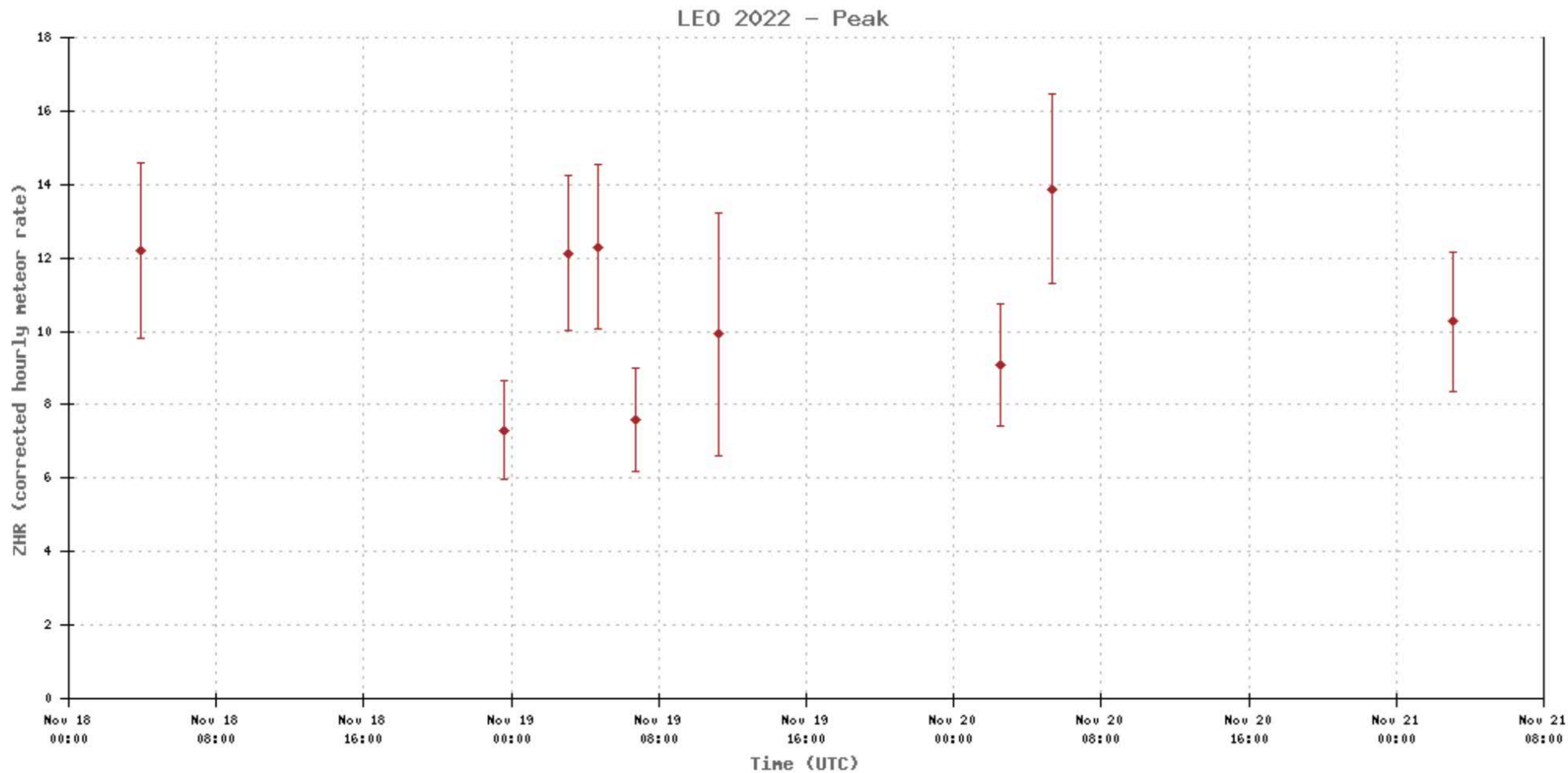


Figure 2- No Leonid outbursts are featured on the 2022 activity profile of this famous meteor shower. Credit: IMO

# Miksi ennustettua maksimia ei esiintynyt?

- Syy yksi?
- Syy kaksi?
- Syy kolme?

**Vertailua Esko Lyytisen  
mallinnukseen - löytäkää kohdat  
mitkä voivat vaikuttaa tähän?**



- Komeetalla oletetaan olevan ydin ja sitä kiertävä partikkelijoukko. Komeetan ollessa perihelissä, eli lähimpänä Aurinkoa, tapahtuu gravitaationaalinen partikkelien poistuma L1 ja L2 Lagrangen pisteiden kautta. Tähän vaikuttaa pääasiassa Auringon säteilypainne.
- Jos partikkelien ejektionopeudet **ovat hyvin pieniä ja ne eivät paljon vaihtele**, muodostuu partikkelivanoja yhden kierroksen jälkeen.

- Vana hajaantuu epäsymmetrisen absorption ja uudelleensäteilyn ansiosta.
- Hajaantuminen radan suuntaisesti ja poikittainen (transverse) hajaantuminen aiheuttavat pääasiassa meteoriparven aktiivisuusvaihtelut (ZHR = zenithal hourly rate).
- Planeettojen gravitationaalinen vaikutus muuttaa meteoroidin rataa.
- Muitakin vaikuttavia tekijöitä on olemassa.

# Säteilypain

**Säteilypain jakautuu kolmeen komponenttiin seuraavasti:**

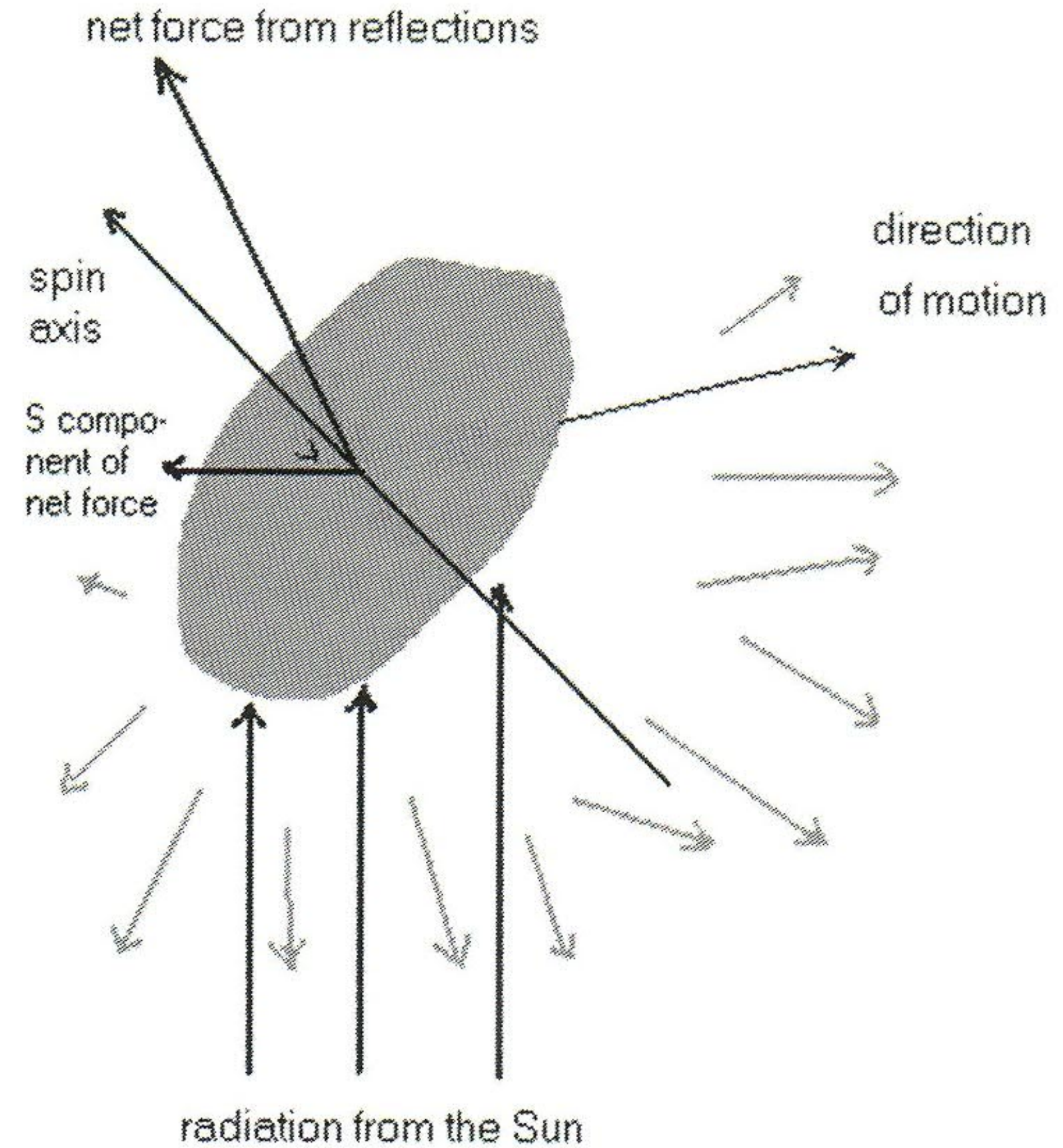
- Absorptiosta johtuvaan komponenttiin
- Uudelleensäteilemisestä johtuvaan komponenttiin
- Sironnasta johtuvaan komponenttiin

# Poynting-Robertson efekti

- Liikkeen suuntaan tapahtuva säteily on liikemäärältään suurempi kuin taaksepäin, josta aiheutuu partikkelin hidastuminen.

# Ei-isotrooppinen sironta

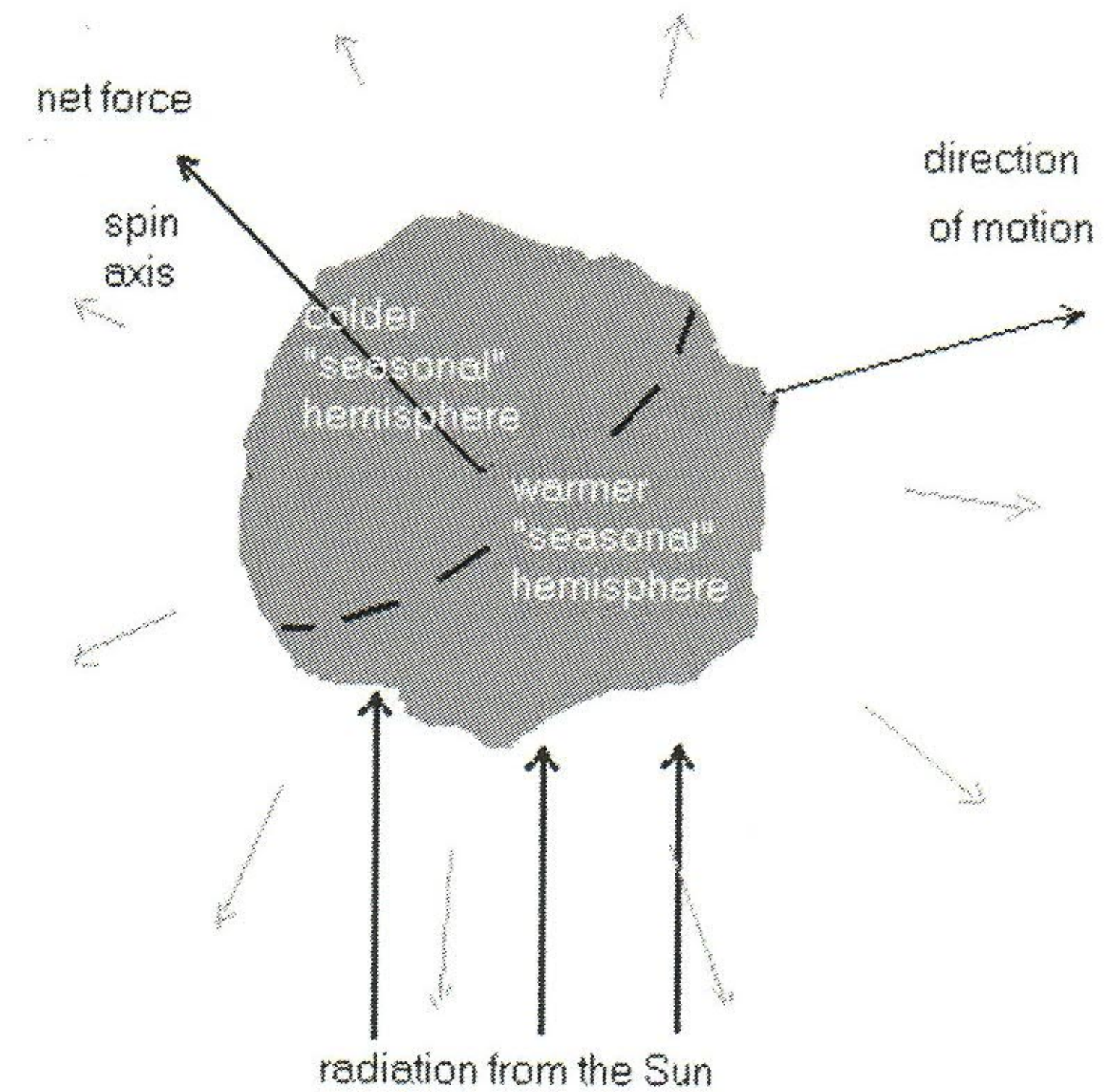
- Lähde: Esko Lyytinen et al. Earth, Moon and Planets 2000.



*Figure 2.* Non-isotropic scattering may give force components that change the orbit and, among others, affect the orbital period, i.e. produce an A2 effect.

# Seasonal Yarkovsky efekti

- Lähde: Esko Lyytinen et al. Earth, Moon and Planets 2000.



*Figure 3.* The mechanism for seasonal Yarkovsky is illustrated here. This effect can perturb the orbital motion of a particle much like the effect illustrated in Figure 2.

# A2 efekti

- A2 efekti, eli jatkuva kiihtyvyys, sisältää kaikki ei-gravitationaaliset prosessit, jotka muuttavat meteoroidin kiertosaikaa.
- Keskeisillä kohtaamisilla ei kovin paljon vaikutusta, mutta ei-keskeisillä kohtaamisilla voi lisätä ZHR arvoa.

- delta-A: "difference of original semi-major axis from that of the comet at ejection time"
- Mean Anomaly factor fM: Hajaantuminen radan suuntaisesti. (vrt. McNaught Asher 1999).
- Hajaantuminen kaikissa suunnissa otettu mallissa huomioon.



# ZHR laskenta

- Lähde: Esko Lyytinen et al. Earth, Moon and Planets 2000.
- $r_E - r_D =$  Maan ja meteoroidin välinen etäisyys.
- Delta A ja  $f_M$  on selostettu edellisellä dialla.
- $f_n(\Delta a)$  on selostettu seuraavalla dialla ja sitä seuraavalla on parametreja taulukkona.

The radial density  $\rho_r$  of the trails is assumed to be of the form:

$$\rho_r \sim (1 + \Delta r^2)^{-0.5p} \quad (6)$$

where  $\Delta r$  is the difference in radial ecliptic plane crossing distances of Earth and meteoroid  $r_E - r_D$ , scaled according to:

$$\Delta r = (r_E - r_D) / (0.00059 \times n \times \Delta a) \quad (7)$$

where  $n$  is the number of orbits since ejection and  $(r_E - r_D)$  and  $\Delta a$  are in astronomical units. Equation 6 was derived from the observed activity profiles of past meteor storms with the assumption, that the profile shape radially (from Sun) is the same as normal to the orbital plane. In equation 7, the terms  $n$  and  $\Delta a$  arise, because the trail width is expected to widen directly with  $n$  and also with an increase of  $\Delta a$ , practically resulting in a widening with increasing distance from the comet. From published graphs of the 1966 storm (Jenniskens, 1995; Mason 1995; Brown 1999), the free parameter  $p$  was derived as  $p = 2.7 \pm 0.7$ . The scaling factor 0.0002 in Equation 7 was derived from the 1966 storm case, which had  $n = 2$  and  $\Delta a = 0.169$ . In addition, the densities are assumed proportional to the distance from the center raised to the power -2.7 far away from the trail center.

We now introduce the empirical function  $f_n(\Delta a)$ , which is the ZHR for a one-revolution central encounter having the original  $\Delta a$ . Noticing further the mentioned spread (and dilution) directly in two dimensions with  $n$  and further with  $f_M$ , we get this expression for ZHR:

$$\text{ZHR} = f_n(\Delta a) (f_M / n^2) (1 + \Delta r^2)^{-0.5p} \quad (8)$$

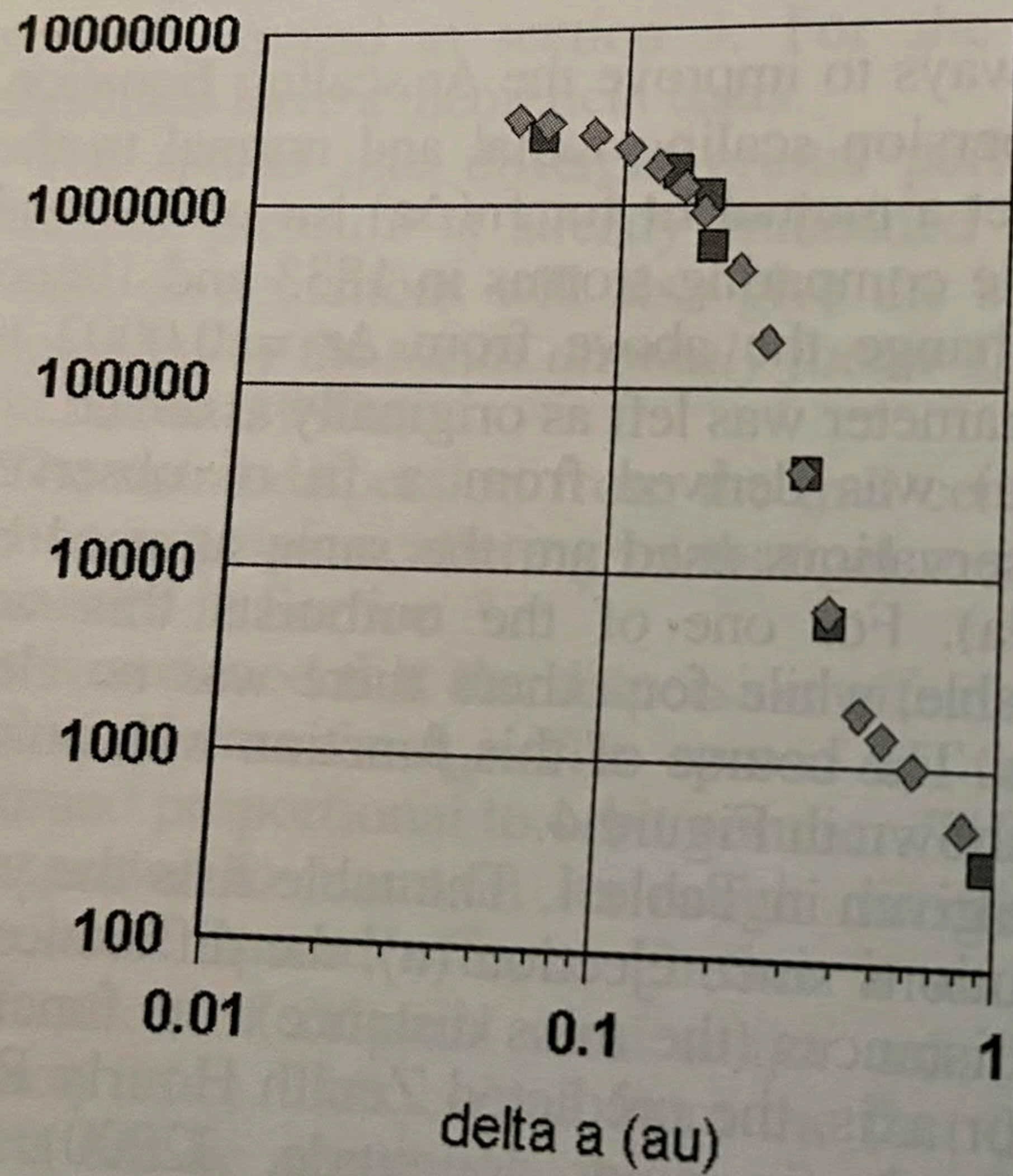


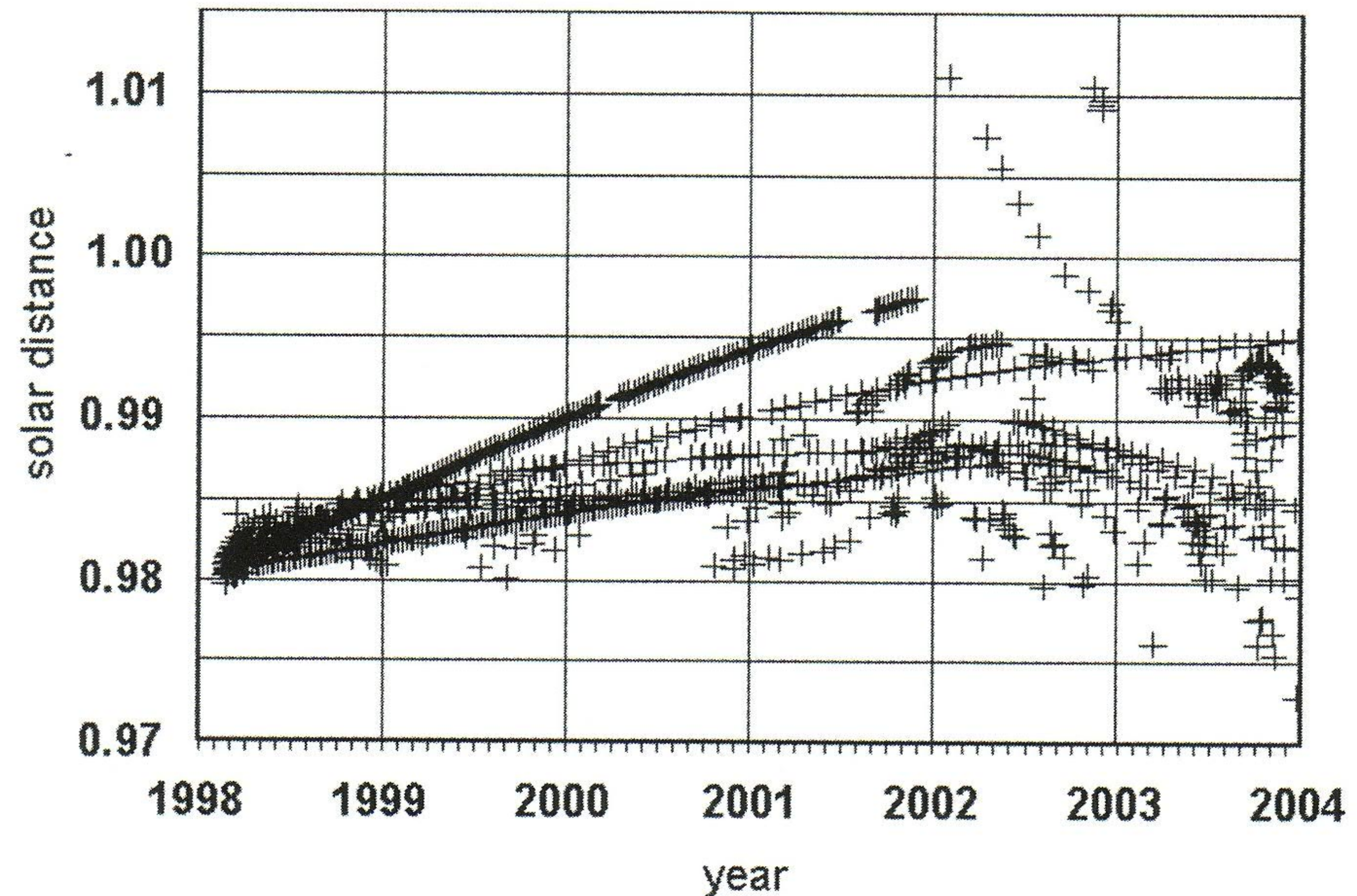
Figure 4. The graph shows the approximation of  $fn(\Delta a)$  from seven observed peak Zenith Hourly Rates. Squares are derived from observations of 1866, 1999, 1966, 1833, 1869, 1867, and 1969. Diamonds show the derived numerical approximation.

TABLE I

Year	Rev.	rE-rD	fM	delta a	Pred. ZHR	Sol.long. 2000.0	Date Nov.	Time UT	Comments
2000	2	-0.0012	0.55	0.30	215	235.270	17	07:50	mostly faint
2000	4	0.00080	0.135	0.116	700	236.279	18	07:50	
2000	8	0.00080	0.250	0.065	700	236.103	18	03:40	fM locally bigger, but strongly affected by A2 ef
2001	4	0.00025	0.135	0.144	6100	236.467	18	18:22	
2001	5	0.00178	0.114	0.095	60	236.29	18	14:10	
2001	6	0.00135	0.123	0.080	110	236.20	18	12:00	
2001	7	-0.00043	0.140	0.081	2000	236.115	18	09:58	
2001	9	0.0001	0.260	0.043	1500-2000	236.433	rev:s 9,10,11		strongly affected by A2 ef
2001	10	0.0006	0.160	0.030	600	236.423	ZHR comb.		
2001	11	0.0004	0.160	0.026	260	236.425	ab. 2500 to 3000 18 ab. 17:30		
2002	4	-0.00004	0.148	0.174	7400	236.894	19	10:44	
2002	5	0.00148	0.115	0.120	160	236.72	19	06:45	
2002	7	-0.00013	0.130	0.114	4500	236.612	19	04:02	
2003	15/14 co/me	-0.001 to -0.003	<u>1 - 2.5</u> extr.conf.!	0.28	250	230.69 to230.78+	13 !!!	13 to19	very special also uncertain
2006	2	-0.0002	0.470	0.94	50	236.618	19	04:48	maybe strong teles-
2007	2	-0.0004	0.560	1.06	30	236.107	19	22:55	copic outbursts

# Leonidit

- Lähde: Esko Lyytinen et al. Earth, Moon and Planets 2000.
- Maan ja Auringon välinen etäisyys on 0,988 ja 0,989 välillä.
- Kuvassa nähdään esimerkiksi vuoden 2001 marraskuussa keskittymä lähellä tätä arvoa.
- Emokomeetta on 55P/Tempel-Tuttle. Kiertoaika 33 vuotta.



*Figure 1.* Distance from the Sun of modeled trail particles at the descending node. The vertical lines are at the start of January. The Earth-Sun distance is at about 0.988 to 0.989 AU. A concentration of points near this value in mid-November (as in the year 2001) indicates a likely meteor storm.

- Huomioitava, että tässä esityksessä tähän saakka esitetty malli on ns. perusmalli, eikä edelleen kehitetty ja parannettu malli, jolla sitten laskettiin lopulliset Leonidiennusteet. Tässä esityksessä oleva perusmalli on esitetty Earth, Moon and Planets kirjassa, Esko Lyytinen et al.
- Parannettu malli löytyy: Improved 2001 Leonid Storm Predictions from a Refined Model. Esko Lyytinen et al. WGN, the Journal of the IMO 29:4 (2000).
- Esitän tässä myös parannetulla mallilla laskettuja ennusteita seuraavana.
- Parannetussa mallissa on edelleen kehitetty mm. ns. A2 mallinnusta. Osa vanoista on vuodelle 2000, ja niillä on sovitettu mallia vuodelle 2001.

# Leonidien 2001 ennusteet

- Edelleenkehitetty parannettu malli sovitettiin havaintotuloksiin sovittamalla maksimin ajankohta sekä ZHR käyrän muoto. Sovituksessa käytettiin IMO:n visuaalihavaintoja vuosilta 1999 ja 2000 sekä NASA:n MAC lentojen tuloksia (Peter Jenniskens) vuodelta 2000. ZHR käyrällä on havaittu olevan lähellä Lorentz jakaumaa oleva muoto.
- Jokaisella kohtaamisella on half strength, half-width arvo, mutta half strength vastaa 39% arvoa, koska jakauma ei ole aivan tarkkaan Lorentz jakauma.
- **Tämä malli antoi kaikista parhaimmat tulokset Leonidien aktiivisuudelle!**

# Improved 2001 Leonid Storm Predictions from a Refined Model

*Esko Lyytinen, Markku Nissinen and Tom Van Flandern*

---

It is expected that the cumulative non-gravitational effect on the semi-major axis in the dust trails that produce meteor outbursts is an important factor affecting the particle spread along the orbit and therefore the apparent ZHR behavior. In this work, we determine a numerical value estimate of this effect from earlier observations, mainly those from the year 2000. Besides getting a better post-prediction of the course of the ZHR curve, we also find that the observed maximum ZHR value of the 8-revolution outburst (1733) is better explained with the new model when the derived non-gravitational A2 distribution is taken into account. The model and newly derived parameter values are used to improve the predictions for the year 2001. The predicted outbursts for the year 2002 have not yet been treated in this way.

---

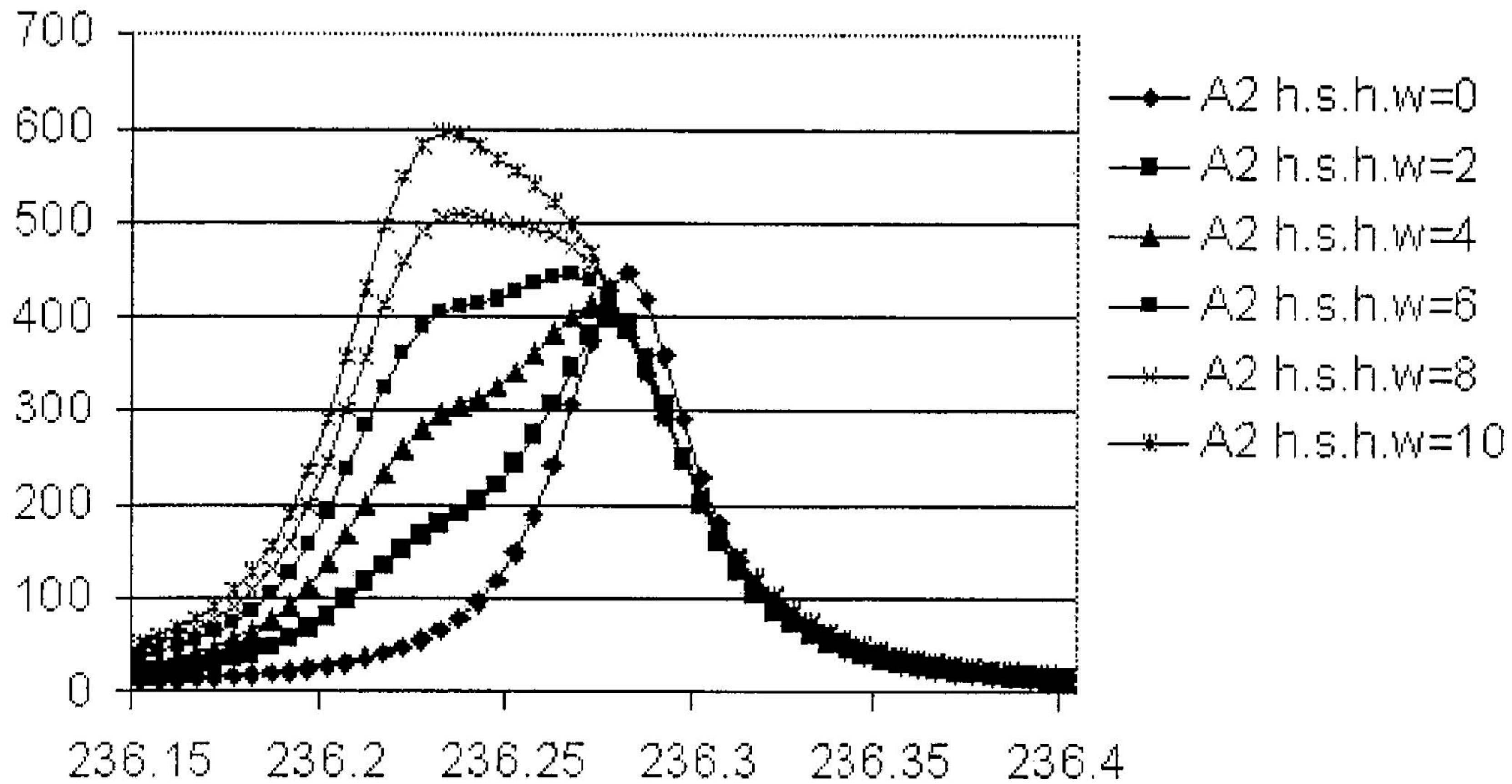


Figure 2 – The 2000, 4-revolution (1866) ZHR change with A2-distribution width parameter (half-strength half-width). Best fits around 4 to 7; data from [7,8]



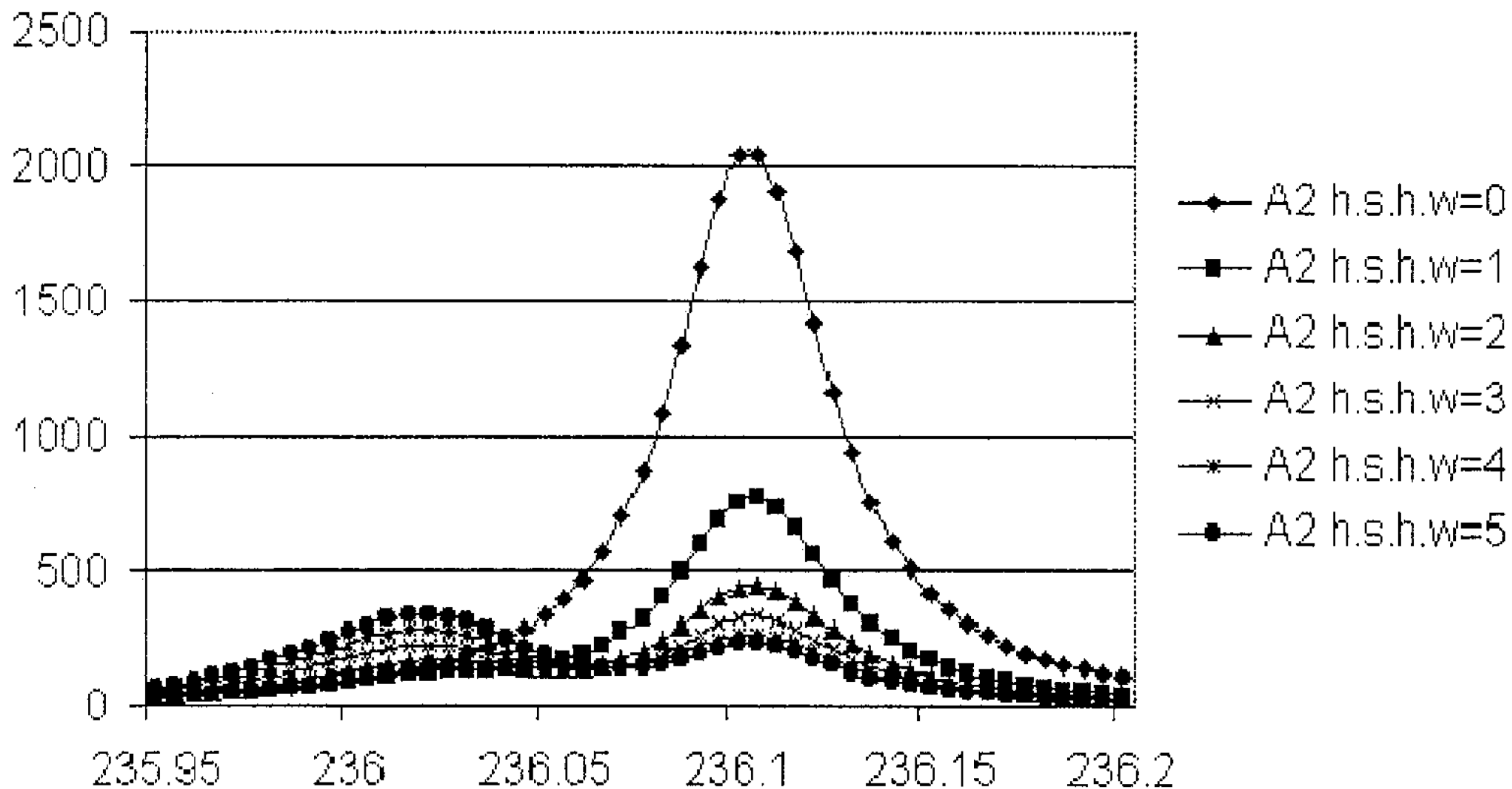


Figure 3 – The 2000, 8-revolution (1733) ZHR change with A2-distribution width parameter. Best fit 3.2; data from [7].

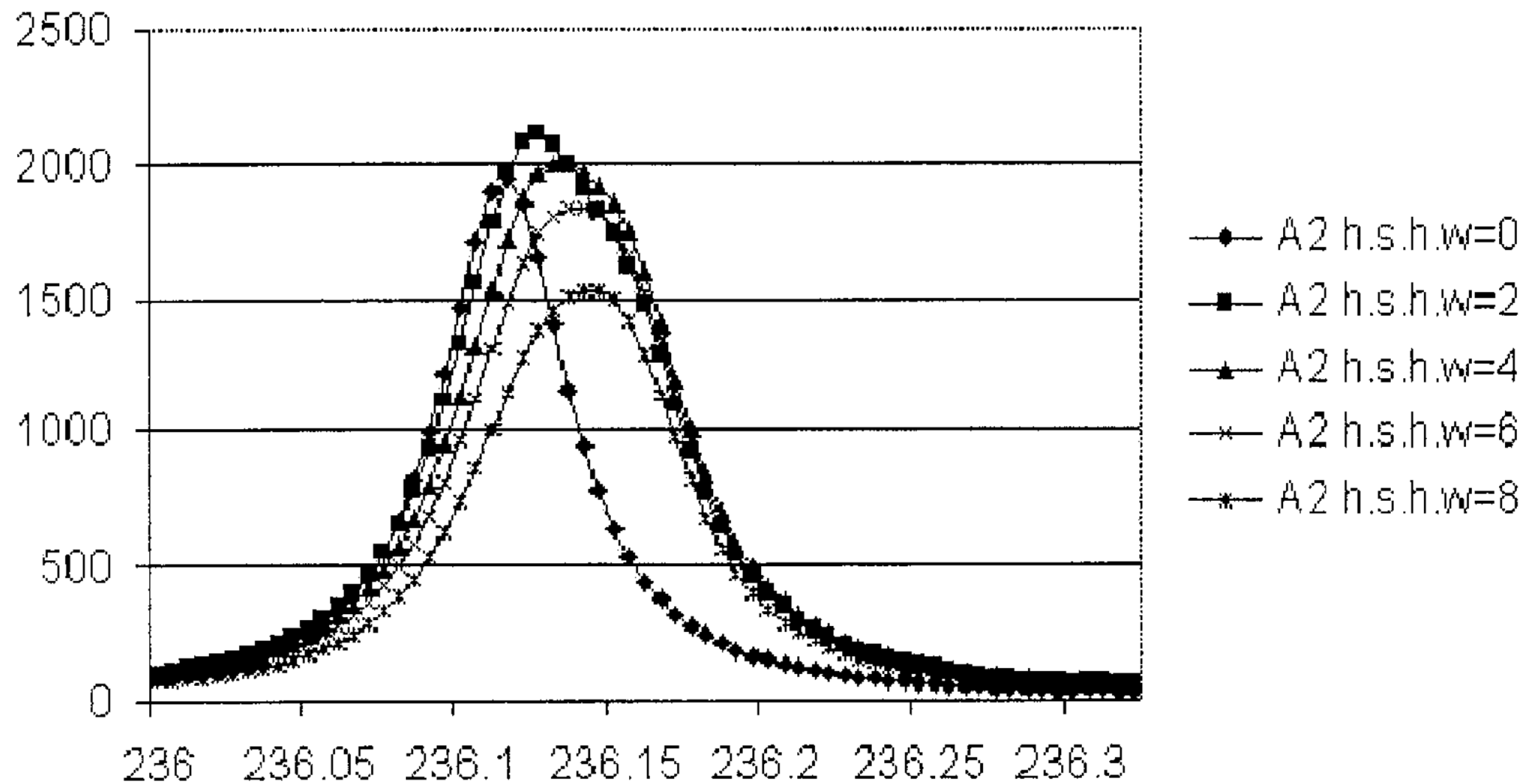


Figure 9 – The 2001, 7-revolution trail encounter ZHR-change with A2-distribution width parameter.

Table 2 – Predictions for 2001, in UT. Conversion into J2000 solar longitudes, on November 18, 2001, were made according to the formula  $\lambda_{\odot} = 235^{\circ}692 + 1^{\circ}009 \times d$ , where  $d$  is the time in days from the start of the day (November 18, 0<sup>h</sup> UT). The predicted peaks values for trails 10 and 11 are rounded to the nearest ten minutes.

Trail	Nodal encounter (in original model)	Predicted peak (in A2 modeling)	Half-width (minutes)	ZHR
4 – rev	18 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>	18 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	43	5000
5 – rev	14 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	A2 modeling not applied	(29)	60
6 – rev	12 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	A2 modeling not applied	(30)	110
7 – rev	10 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>	10 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	58	2000
		(non symmetric	– 53/ + 62)	
9 – rev	17 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>	18 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup>	62	2600
		(non symmetric	– 58/ + 65)	
10 – rev	17 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>	19 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	≥ 140	150
11 – rev	17 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>	19 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	≥ 90	150

**Ja mitä havainnot kertoivat  
aikoinaan ?**

## The Leonids

# Bulletin 17 of the International Leonid Watch First Global Analysis of the 2001 Leonid Storms

*Rainer Arlt, Javor Kac, Vladimir Krumov, Andreas Buchmann, and Jan Verbert*

---

Observers in America and Asia have monitored strong peaks of Leonid activity on November 18, 2001. We present a first analysis of global data based on the reports of 177 observers who recorded 137 146 Leonids. Main activity peaks are found for solar longitudes (all J2000.0)  $\lambda_{\odot} = 236^{\circ}137 \pm 0^{\circ}003$  (November 18,  $10^{\text{h}}39^{\text{m}} \pm 4^{\text{m}}$ ) and  $\lambda_{\odot} = 236^{\circ}458 \pm 0^{\circ}003$  (November 18,  $18^{\text{h}}16^{\text{m}} \pm 4^{\text{m}}$ ). Secondary peaks are found near the main Asian maximum at  $\lambda_{\odot} = 236^{\circ}448 \pm 0^{\circ}003$  (November 18,  $18^{\text{h}}02^{\text{m}} \pm 4^{\text{m}}$ ) and  $\lambda_{\odot} = 236^{\circ}467 \pm 0^{\circ}003$  (November 18,  $18^{\text{h}}30^{\text{m}} \pm 4^{\text{m}}$ ). The American peak actually exhibits a bimodal structure with two similar maxima at  $236^{\circ}137 \pm 0^{\circ}003$  and  $236^{\circ}154 \pm 0^{\circ}003$ , the second of them being 24 minutes later. The population index shows sharp peaks for the storms, whereas the background level during the interval  $\lambda_{\odot} = 235^{\circ}6-237^{\circ}0$  is characterized by  $r < 1.9$ .

---

Table 1 – Overview of predictions and observed activity of the 2001 Leonids. The two models refer to [2] and [1], respectively. The peak times with exclamation marks are the main maxima, whereas the other times denote slight enhancements of activity with medium significance. Model times in brackets are tentative associations with observed features. The number of individual observing periods is given as “Per.”

Dust trail	Models		Observations			
	McNaught Asher	Lyytinen, Nissinen, van Flandern	$\lambda_{\odot}$ (J2000.0)	November 18 UT	ZHR	Per.
7-rev	(09 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup> )	–	236°082	09 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup> (!)	680 ± 60	19
7-rev	09 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	10 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	236°137	10 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup> (!)	1620 ± 40	75
7-rev	(11 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> )	–	236°154	11 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup> (!)	1610 ± 60	37
6-rev	–	(12 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> )	236°179	11 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	650 ± 40	19
6-rev	–	(12 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> )	236°195	12 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup>	520 ± 40	19
–	–	–	236°262	13 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	400 ± 40	19
9-rev	17 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>	18 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup>	236°448	18 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>	2830 ± 70	66
4-rev	18 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup>	18 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	236°458	18 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup> (!)	3430 ± 90	39
	–	–	236°467	18 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> (!)	3010 ± 70	55
11-rev	18 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	19 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	236°491	19 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>	1840 ± 60	47

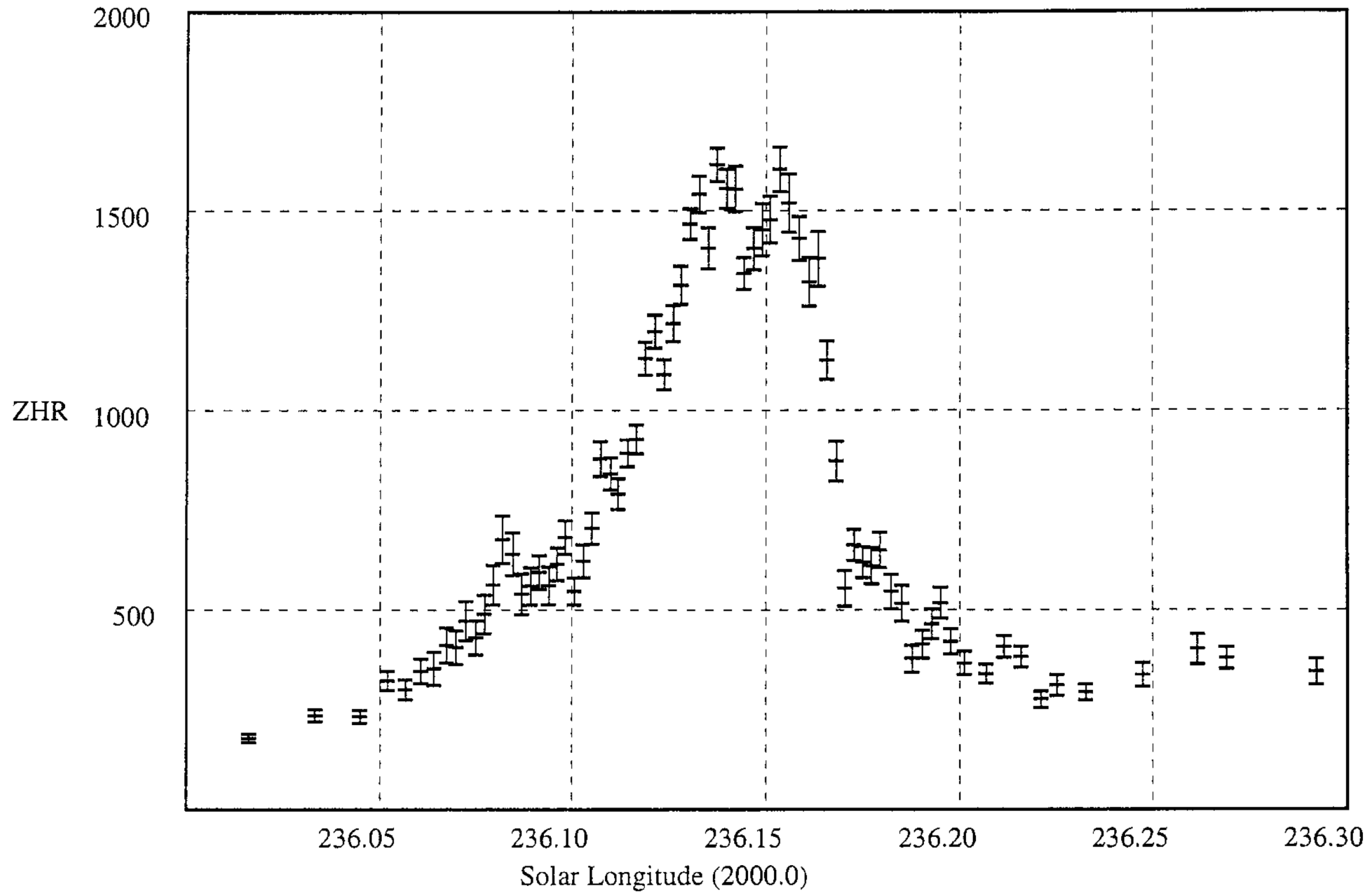


Figure 4 – Final profile of the first 2001 Leonid maximum as seen from American geographical longitudes.

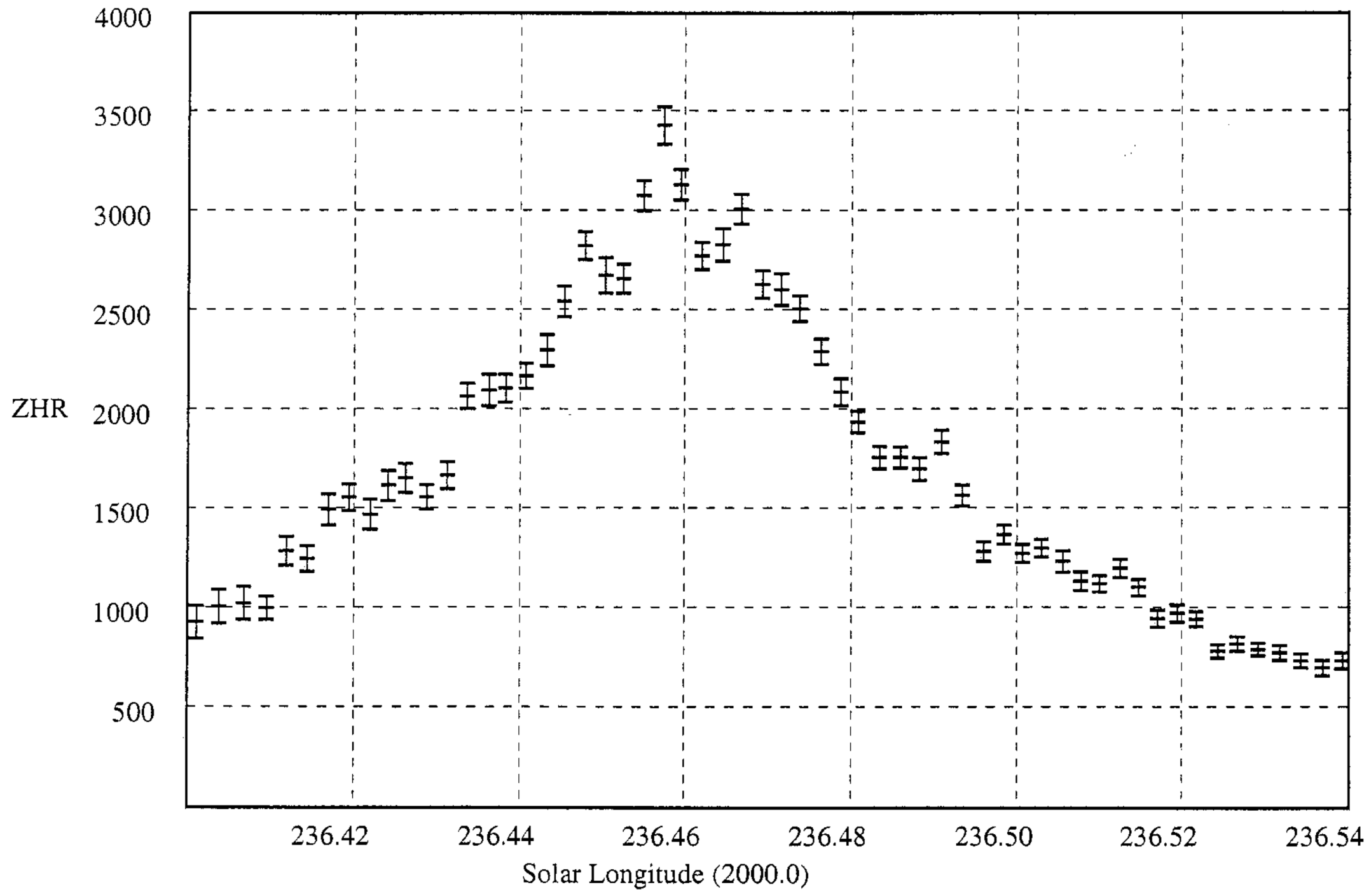


Figure 6 – Final profile of the Asian 2001 Leonid maximum. Observations with  $lm \geq +5.8$  were used in the averaging procedure.



# Yhteenveto

- Esko Lyytisen partikkelimallilla on pitkä ja menestyksellinen historia ja se on tuottanut hyviä tuloksia useilla meteoriparvilla. Se soveltuu lähinnä 109P/Swift-Tuttle -, ja 55P/Tempel-Tuttle -tyyppisille komeetoille.

**Vastauksia?**

# Miksi ennustettua maksimia ei esiintynyt?

Syy yksi?

- ”Suuri negatiivinen” tangentialinen lähtönopeus?

- **Komeetalla oletetaan olevan ydin ja sitä kiertävä partikkelijoukko. Komeetan ollessa perihelissä, eli lähimpänä Aurinkoa, tapahtuu gravitaationaalinen partikkelien poistuma L1 ja L2 Lagrangen pisteiden kautta. Tähän vaikuttaa pääasiassa Auringon säteilypaine.**
- **Jos partikkelien ejektionopeudet ovat hyvin pieniä ja ne eivät paljon vaihtele, muodostuu partikkelivanoja yhden kierroksen jälkeen.**

# Miksi ennustettua maksimia ei esiintynyt?

Syy kaksi?

- Säteilypaine kuljettanut hiukkaset pois?

- **Vana hajaantuu epäsymmetrisen absorption ja uudelleensäteilyn ansiosta.**
- **Hajaantuminen radan suuntaisesti ja poikittainen (transverse) hajaantuminen aiheuttavat pääasiassa meteoriparven aktiivisuusvaihtelut (ZHR = zenithal hourly rate).**
- Planeettojen gravitationaalinen vaikutus muuttaa meteoroidin rataa.
- Muitakin vaikuttavia tekijöitä on olemassa.

# Miksi ennustettua maksimia ei esiintynyt?

Syy kolme?

- A2 efekti?

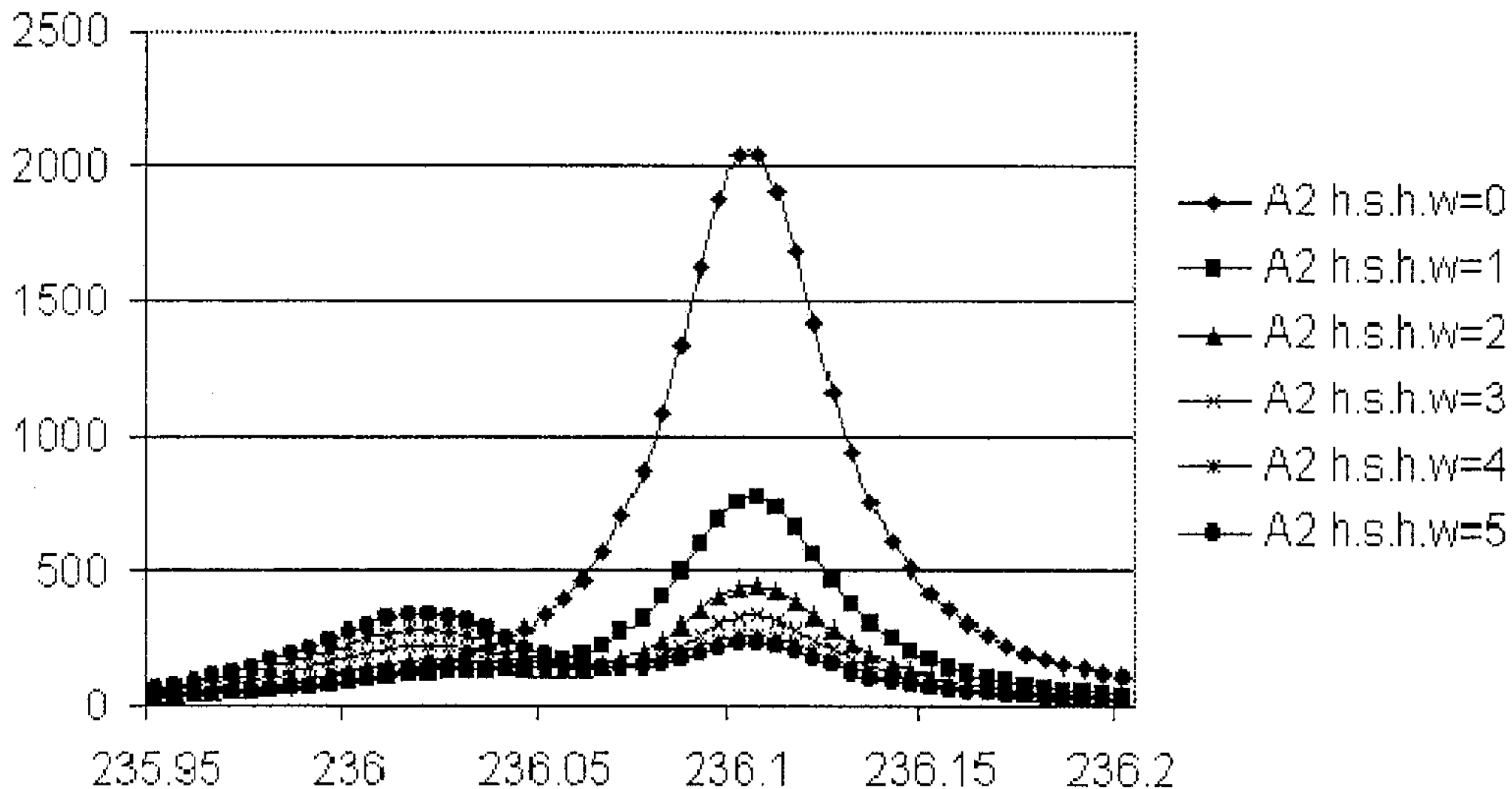


Figure 3 – The 2000, 8-revolution (1733) ZHR change with A2-distribution width parameter. Best fit 3.2; data from [7].



# Referenssejä

- International Meteor Organization kotisivu <https://www.imo.net/>
- IMO meteorikalenteri <https://www.imo.net/resources/calendar/>
- Lyytinen et al., Improved 2001 Leonid Storm Predictions from a Refined Model WGN, Journal of the International Meteor Organization (2000)
- Vaubaillon et al., The 2003 Leonid shower from different approaches WGN, Journal of the International Meteor Organization (2003)
- Vaubaillon et al., The unexpected 2004 Leonid meteor shower, WGN, Journal of the International Meteor Organization (2004)

# Referenssejä

- Lyytinen et al., Predictions for the 2009 Leonids from a technically dense model WGN, Journal of the International Meteor Organization (2009)
- Lyytinen et al., “Predicting the Strength of Leonid Outbursts”, Earth Moon and Planets, 82, 149-166 (2000)
- Mikhail Maslow, Leonid predictions for the period 2001-2100, WGN 35:1 (2007)

# Hyödyllisiä linkkejä

- <https://www.taivaanvahti.fi>
- <https://www.ursa.fi/meteorit/yleistaryhmasta.html>
- <https://www.ursa.fi/wiki/Meteorionpas/Meteorionpas>
- <https://www.ursa.fi/wiki/Meteorionpas/Havaintolomake>
- <https://www.ursa.fi/wiki/Meteorionpas/HavaintolomakkeenTayttoohje>
- <https://www.ursa.fi/wiki/Meteorionpas/RajasuuruusluokanMaarittelyalueet>
- <https://www.ursa.fi/wiki/Meteorionpas/KarttalehdetLiite>