

Fyzika meteorů

- 1) Úvod a teorie (Lukáš Shrbený)
- 2) Pozorování a statistika (Pavel Koten)
- 3) Spektra (Jiří Borovička)

Astronomický ústav AV ČR, Ondřejov

Obsah přednášky

- Metody pozorování
- Zpracování získaných dat
- Světelné křivky, atmosférické dráhy, klasifikace slabých meteorů
- Sporadické, rojové meteory, mateřská tělesa

Vizuální pozorování meteorů

nejstarší metoda – první záznamy už ve starověku:

- Čína 687 BC, dynastie Chou („Během noci hvězdy padaly jako déšť“)
- Perseidy – 36 AD (Čína)
- čínské, japonské, korejské kroniky (8.-11. stol.)

středověk:

- meteory jako meteorologický jev („Kameny z nebe padat nemohou a tudíž nepadají!“)
- 1798 Goetingen – dva studenti pozorují ze dvou míst vzdálených desítky kilometrů => výšky kolem 100 km nad Zemí (!), pocházejí z kosmického prostoru
- 1799 Alexander von Humbolt – déšť Leonid v Jižní Americe

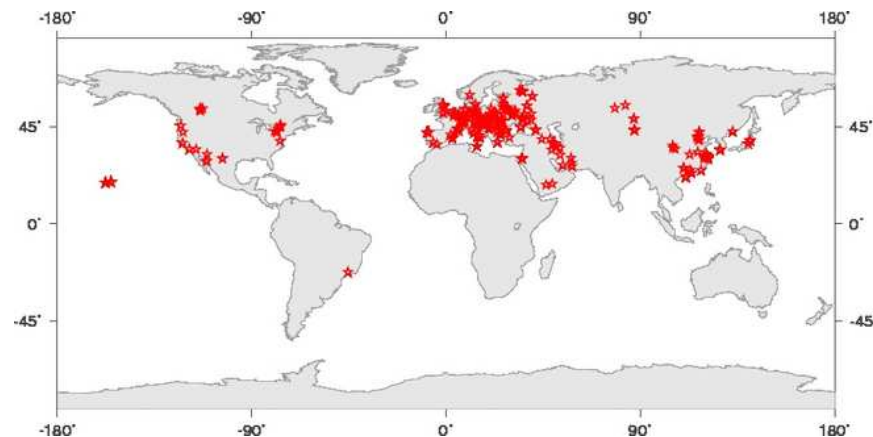
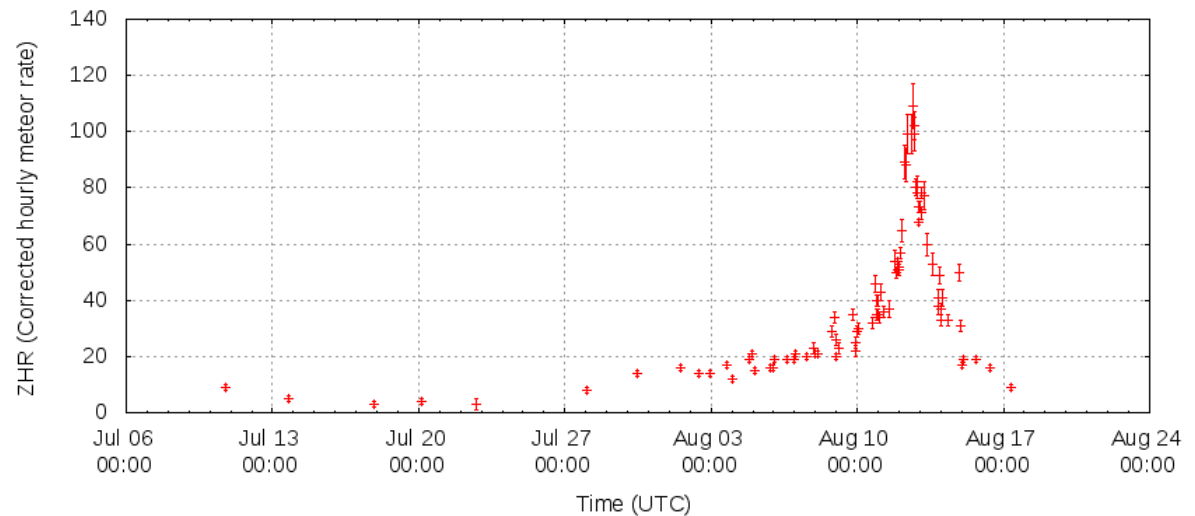


Vizuálně dnes

v rámci International Meteor Organization (IMO, www.imo.net)

přesná metodika,
homogenní výsledky
profily aktivity
meteorických rojů

Perseidy 2013
303 pozorovatelů
37 zemí



Fotografické pozorování

první fotografie meteoru – L. Weinek, 1885 v Praze

zpočátku nedostatečné výsledky až od roku 1936 systematické pozorování (Harvard)

1951 začátek dvojstaničního pozorování v Ondřejově

pád meteoritu Příbram

7. dubna 1959

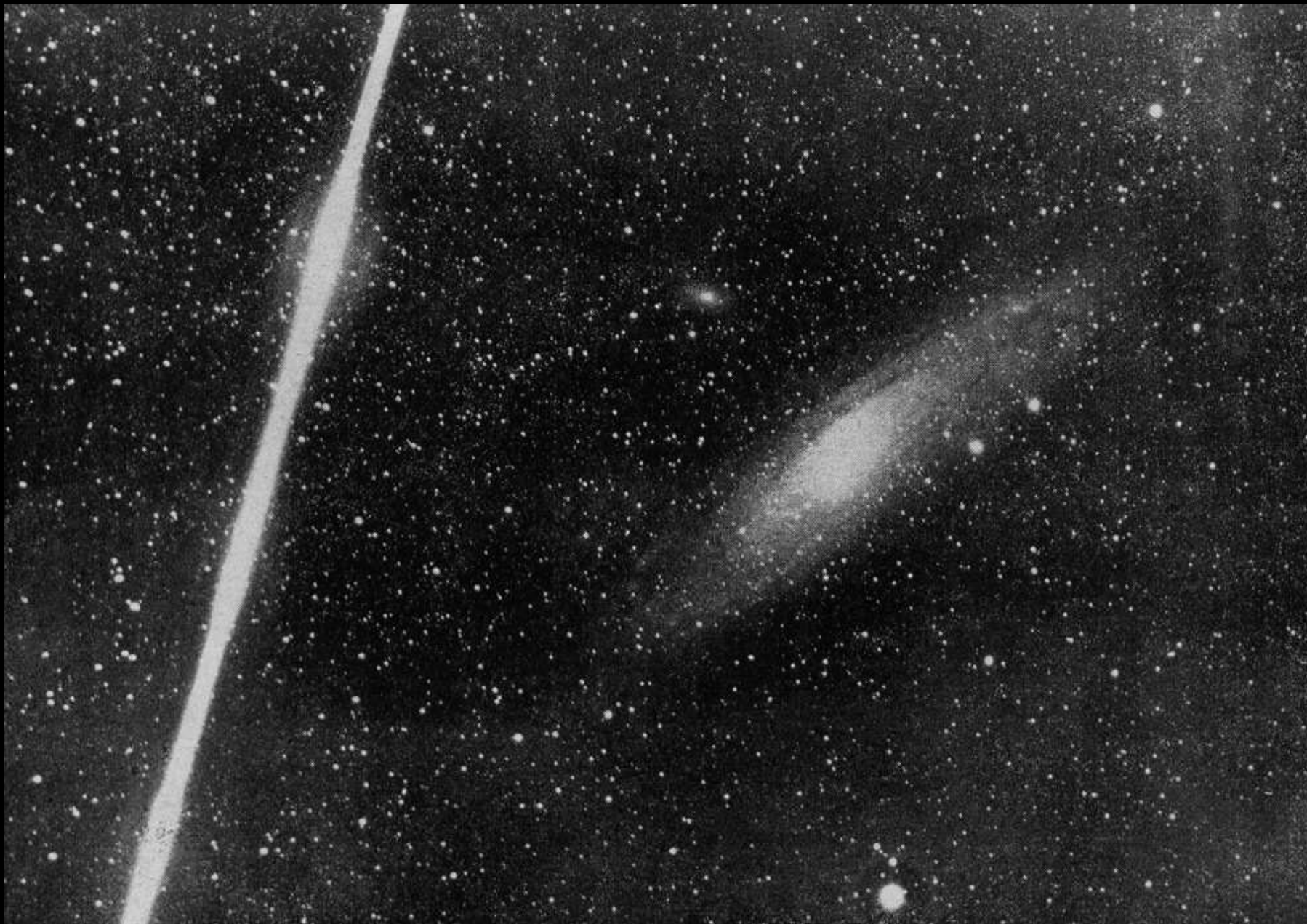
první fotograficky zaznamenaný!

nalezeny 4 meteority:

největší 4,48 kg

začátek dráhy: 98 – 68 km





Bolid a galaxie M31, Ondřejov 12.9.1923, J. Klepešta

Evropská bolidová síť

impuls pro další rozvoj – československá síť od 1963

postupně další evropské země

dnes ~ 50 stanic, milión km², centrum v Ondřejově
(měření snímků, výpočty drah)

vývoj kamer:

- zrcadlové
- fish-eye
- automatické bolidové

observatoře





TV, video pozorování meteorů

počátky 60. léta – první LLLTV kamery

od 70. let zesilovače obrazu – vyšší citlivost (50x zesílení)

rozložení hmotností, atmosférické a heliocentrické dráhy,
světelné křivky a spektra meteorů

postupně 2. a 3. generace zesilovačů – mikrokanálové destičky,
zesílení 20 000x i vyšší

v AsÚ od 80. let průmyslová TV kamera

od 1998 video kamera se zesilovačem obrazu

dvojstaniční pozorování na bázi Ondřejov – Kunžak + spektra
(azimut 340°, vzdálenost 92,5 km)

Videokamera + zesilovač obrazu



S-VHS Panasonic
camcorder, zesilovač
obrazu 2. generace
XX1332, objektiv
Arsat 1.4/50mm
=> FOV typicky $\sim 45^\circ$

širokoúhlý systém –
Zenitar 2.8/16mm

spektrální kamera –
základní systém +
mřížka

Meteor Automatic Imager and Analyzer (MAIA)

zesilovač Mullard XX 1332 (50/40 mm)

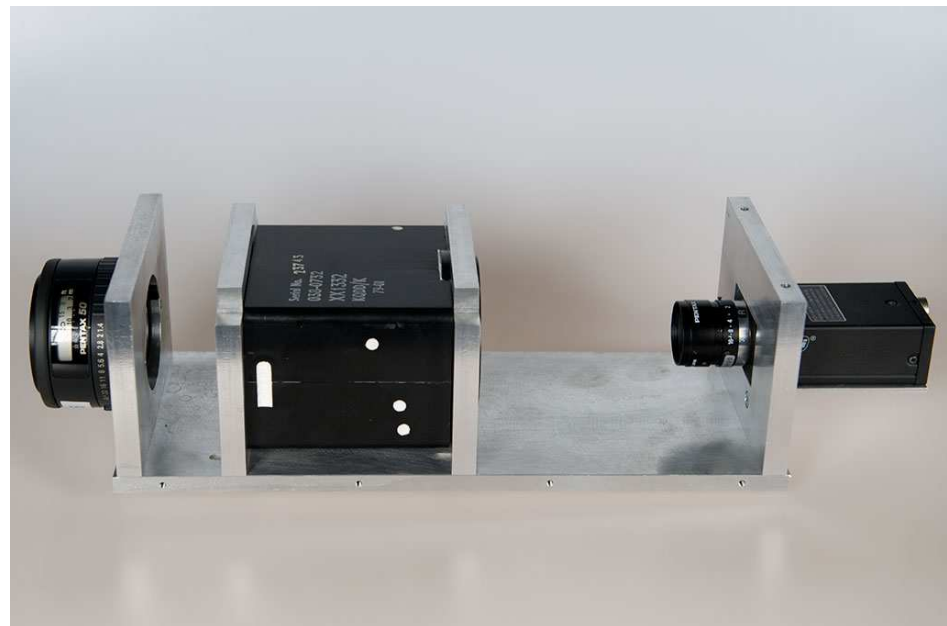
gigabit Ethernet kamera JAI CM-040 s 1/2" CCD senzorem



61 fps, 10 bitů, 776 x 582 px

FOV 52°, hvězdy do 8^m, meteor do 5,5^m

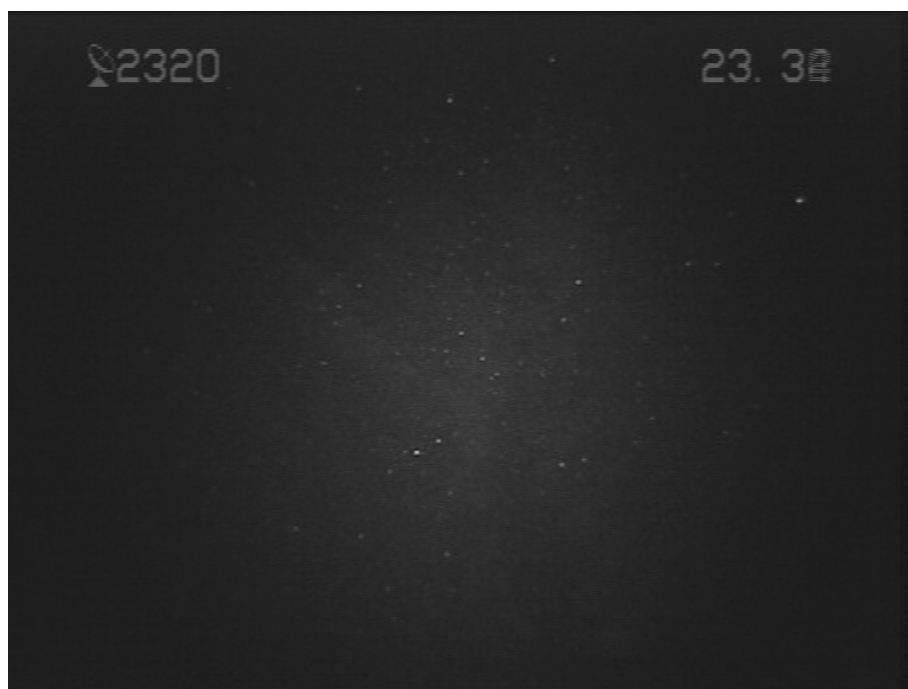
30 s expozice 1,6 GB, noc až 2 TB



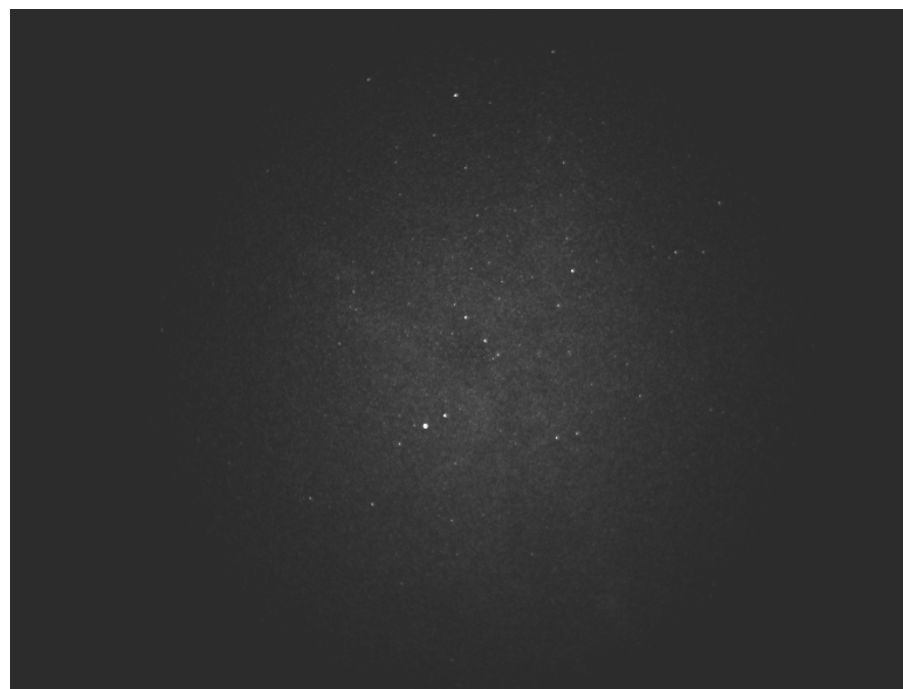
Srovnání systémů

meteor 11.8.2013 ve 23:20:24 UT - Perseida

S-VHS:

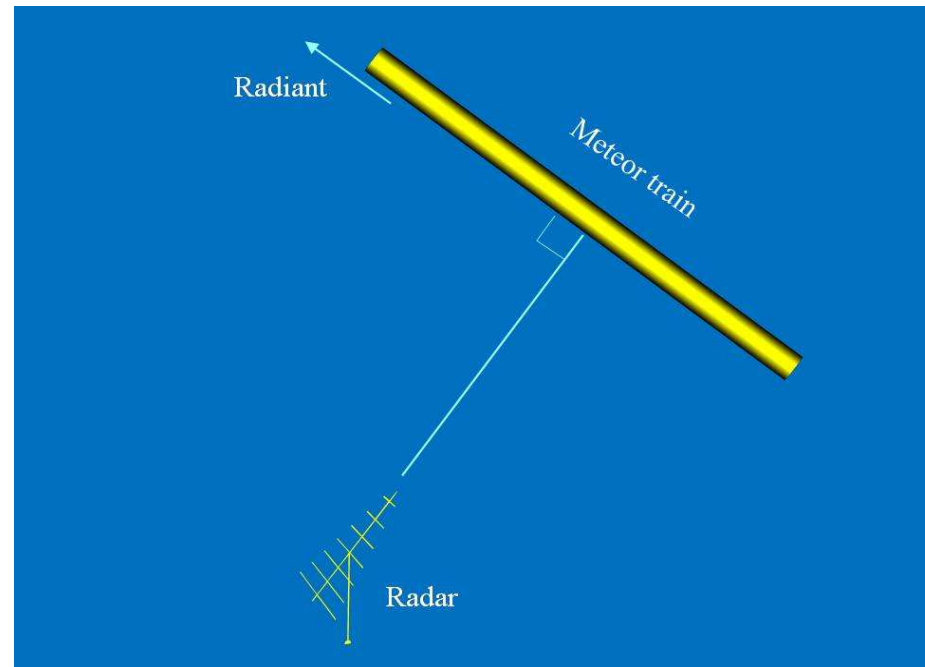
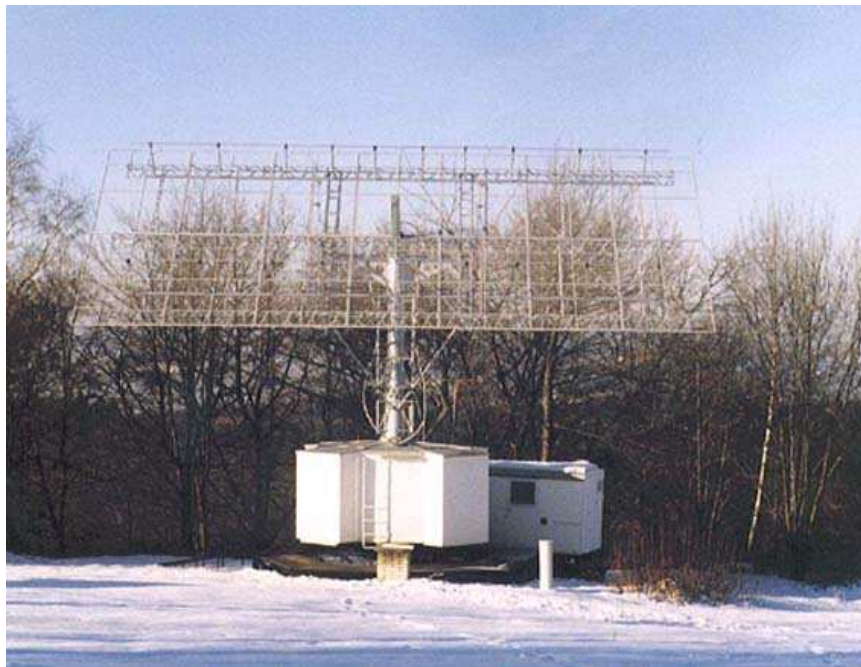


MAIA:



Radarová pozorování

meteoroid – srážky s molekulami vzduchu – ionty a elektrony
podél dráhy – odraz rádiových vln (poprvé Leonidy 1931)
meteorické radary – přítok hmoty, aktivita meteorických rojů,
rozdělení rychlostí, hmotností



Současné radary

slabší meteory než fotografické, video

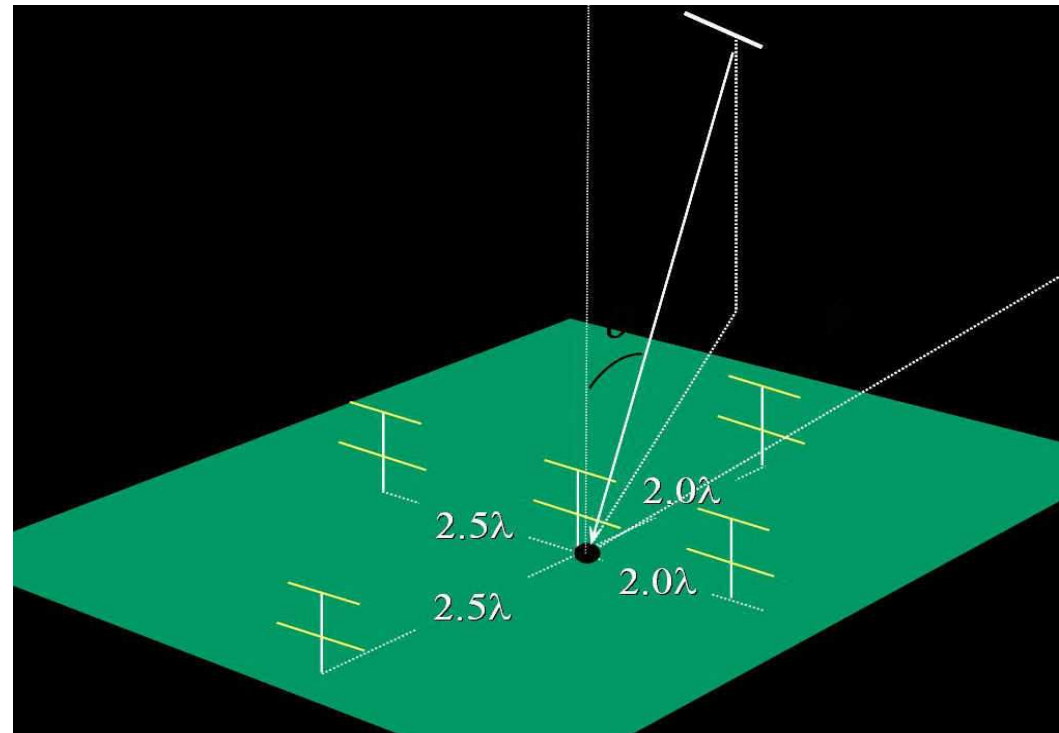
více stanic – 1 vysílač, více přijímačů – možnost měřit dráhy meteorů

např. kanadský CMOR

17.45, 29.85, 38.15 MHz

3 stanice (8.1, 6,2 km)

2500 drah denně



Zpracování dat optických dat

video pozorování:

1. prohledání záznamů – MetRec, dMaia
2. katalogizace
3. digitalizace – nekomprimované soubory AVI
4. měření – vlastní software MetPho
 - kalibrace zorného pole
 - fotometrie
 - poloha a jasnost meteoru
5. výpočet dráhy – dvojstaniční meteory
6. fotometrická hmotnost – světelná křivka

Měření snímků

- dark frame, flat-field, odečtení pozadí oblohy
- astrometrická kalibrace

identifikace hvězd – katalogové (α, δ) , souřadnice na snímku (x, y)

střed snímku (α_0, δ_0)

pak Turnerova transformace:

$$\xi_i - x_i = ax_i + by_i + c$$

$$\eta_i - y_i = dx_i + ey_i + f$$

kde pro hvězdu i :

(ξ_i, η_i) jsou určeny na základě (α_i, δ_i) a (α_0, δ_0)

tj. 6 neznámých – a, b, c, d, e, f

stačí tři hvězdy pro určení

více hvězd, přesnější popis zorného pole, přesnější určení středu snímku

(x, y) jednotlivých úseků meteoru $\Rightarrow (\alpha, \delta)$

Měření snímků II.

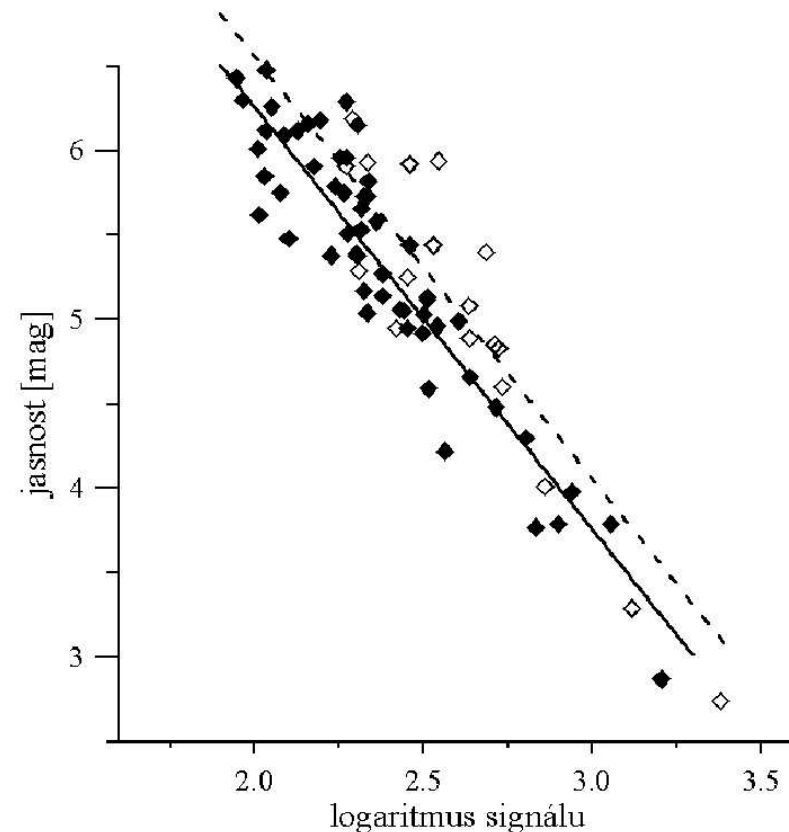
fotometrická kalibrace:

- pro každou hvězdu určen signál
- kalibrační křivka

měření meteoru:

na každém snímku pozice
(čelní bod)

a jasnost = signál v definovaném
boxu



Atmosférická dráha

2 stanice = 2 roviny

geografické souřadnice => geocentrické

rovina definovaná polohou stanice a úseky meteoru (α , δ)

pro každý bod jednotkový vektor

průnik dvou rovin – přímka dráhy meteoru

směr = radiant (případně „antiradiant“)

úhel rovin Q – je-li velmi malý, výsledky jsou nepřesné

výsledkem projekce na zemský povrch jsou geocentrické (příp. geografické) souřadnice, výška nad povrchem

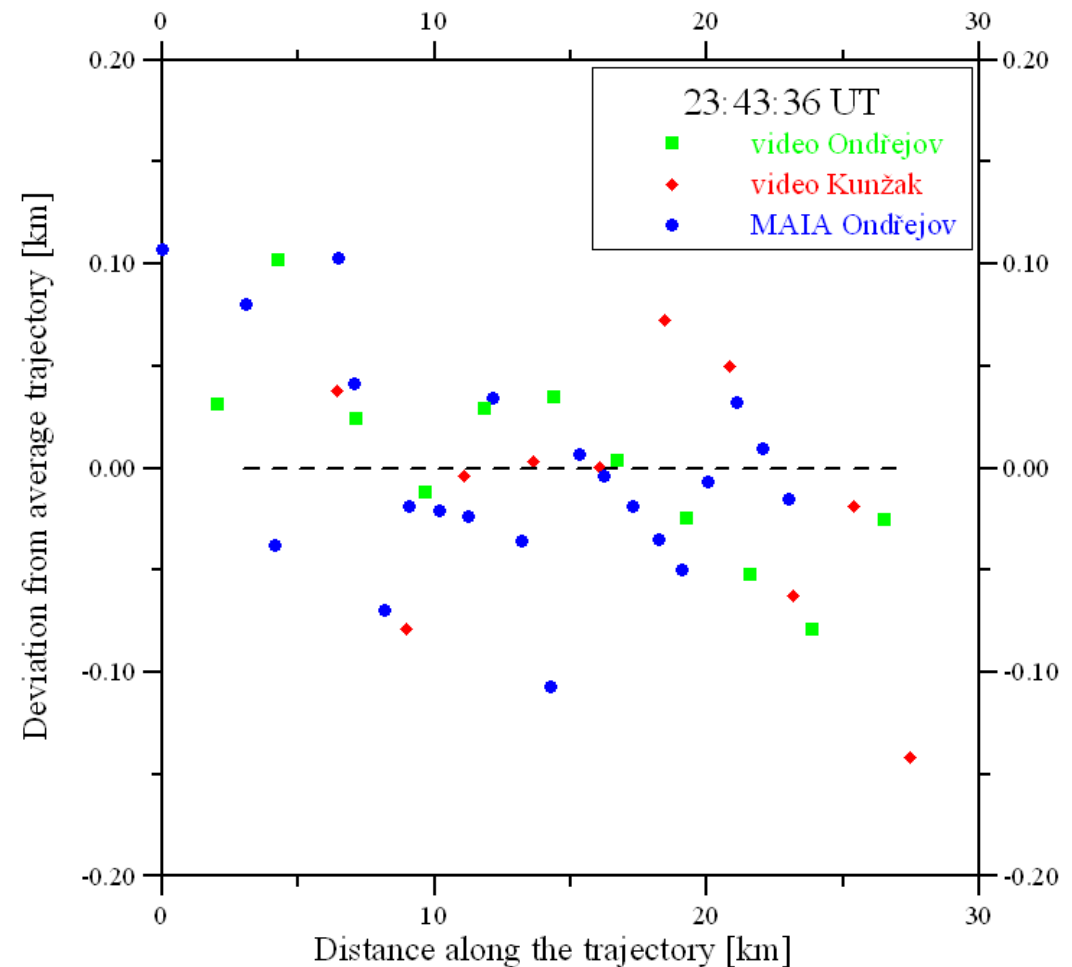
Atmosférická dráha II.

odchylka ~ 100 m (video)

fotografická cca 10 m

graf také odhalí
systematické chyby
jestli ano, pak
nutno opravit redukci

známe-li čas, je možno
spočítat heliocentrickou
dráhu



Heliocentrická dráha

časové značky – výpočet počáteční rychlosti meteoroidu v_{∞}

fit $(l_i - l_0)$ – vzdálenost podél trajektorie

korekce na zemskou rotaci, gravitaci $\Rightarrow$ geocentrická rychlost v_G

geocentrické souřadnice radiantu (α_G, δ_G)

transformace $v_G, \alpha_G, \delta_G \Rightarrow v_H, L_H, B_H$ heliocentrické souřadnice

a následně parametry dráhy $a, e, q, \omega, \Omega, i$

přepočet na J2000.0

Ceplecha (1987) BAIC 38, 222-234

Světelné křivky

absolutní jasnost – přepočtená na
vzdálenost 100 km

výpočet fotometrické hmotnosti

$$m_{ph} = 2 \int_{t_B}^{t_E} \frac{I dt}{\tau v^2} + m_E$$

t_B , t_E – čas počátku, konce
zářivé dráhy meteoru,

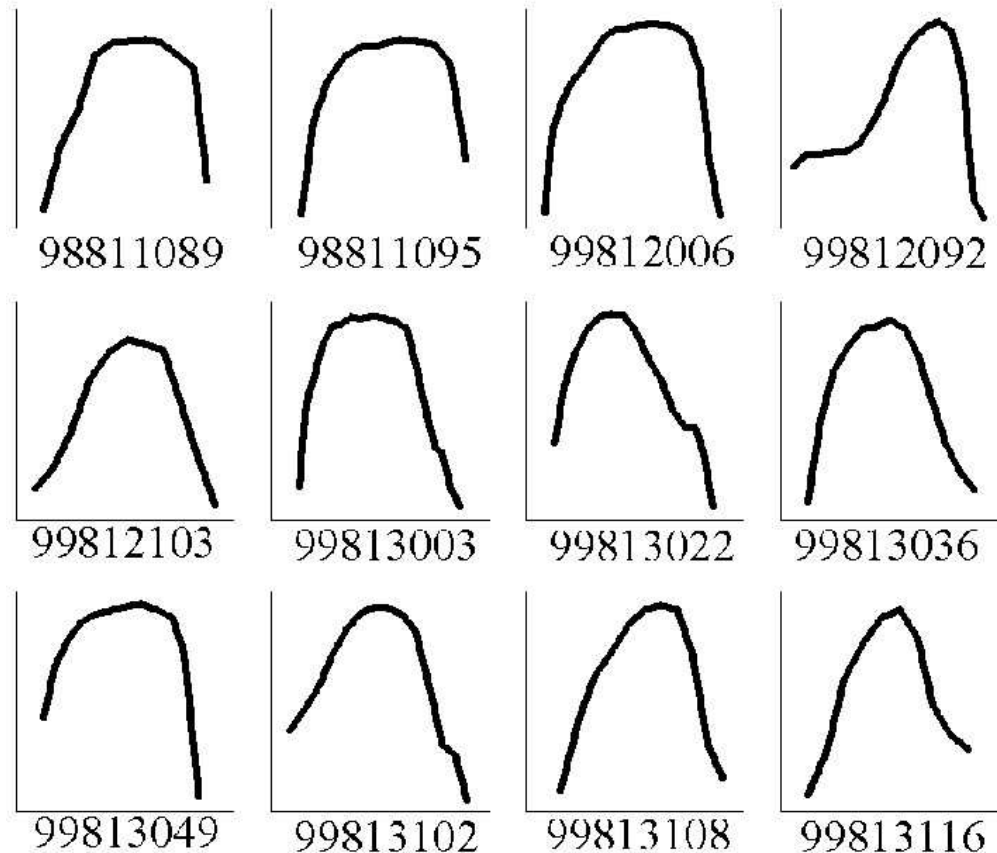
I – svítivost meteoru,

v rychlost,

τ zářivá účinnost a

m_E konečná hmotnost

(zde vždy = 0)



Klasifikace slabých meteorů

pol. 20. století – meteoroidy podobného složení a struktury
nízká hustota (200 kg/m^3), křehká tělesa – nedostatek dat
Ceplecha (1958), Jacchia (1958) – různé populace
odlišné počáteční výšky – 2 skupiny 10 km rozdíl v H_{BEG}
definovány populace A, C
později přesnější dělení podle parametru K_B (Ceplecha,
1988)

$$K_B = \log \rho_B + 2.5 \log v_\infty - 0.5 \log z_R$$

(pro TV, video korekce +0.15)

Klasifikace slabých meteorů II.

skupina	K_B	dráha	četnost [%]	složení, mateřská tělesa
asteroidální	$8.0 \leq K_B$		< 1	obyčejné chondrity; asteroidy
A	$7.3 \leq K_B < 8.0$		27	uhlíkaté chondrity; komety, asteroidy
B	$7.1 \leq K_B < 7.3$	$q \leq 0.3 \text{ AU}$	2	hustý kometární materiál; Phaeton?
C1	$6.6 \leq K_B < 7.1$	$a < 5.0 \text{ AU}$ $i \leq 35^\circ$	21	kometární materiál; krátkoperiodické komety
C2	$6.6 \leq K_B < 7.1$	$a \geq 5.0 \text{ AU}$	18	kometární materiál; dlouhoperiodické komety
C3	$6.6 \leq K_B < 7.1$	$a < 5.0 \text{ AU}$ $i > 35^\circ$	28	kometární materiál; dlouhoperiodické komety
D	$K_B < 6.6$		3	křehký kometární mat.; Giacobini-Zinner

144 sporadických meteorů

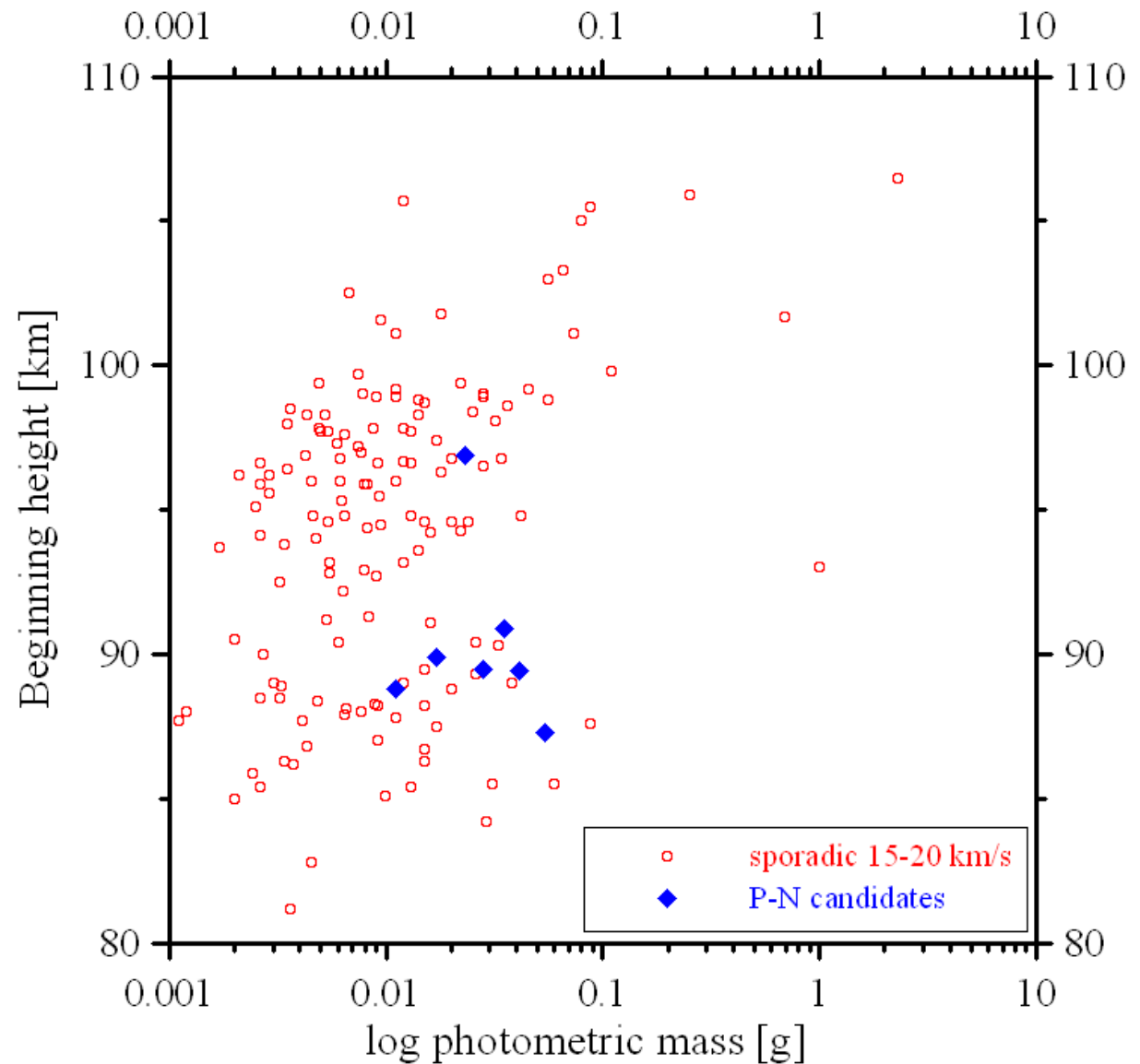
$$v_G = 17.5 \pm 2.5 \text{ km/s}$$

(video data)

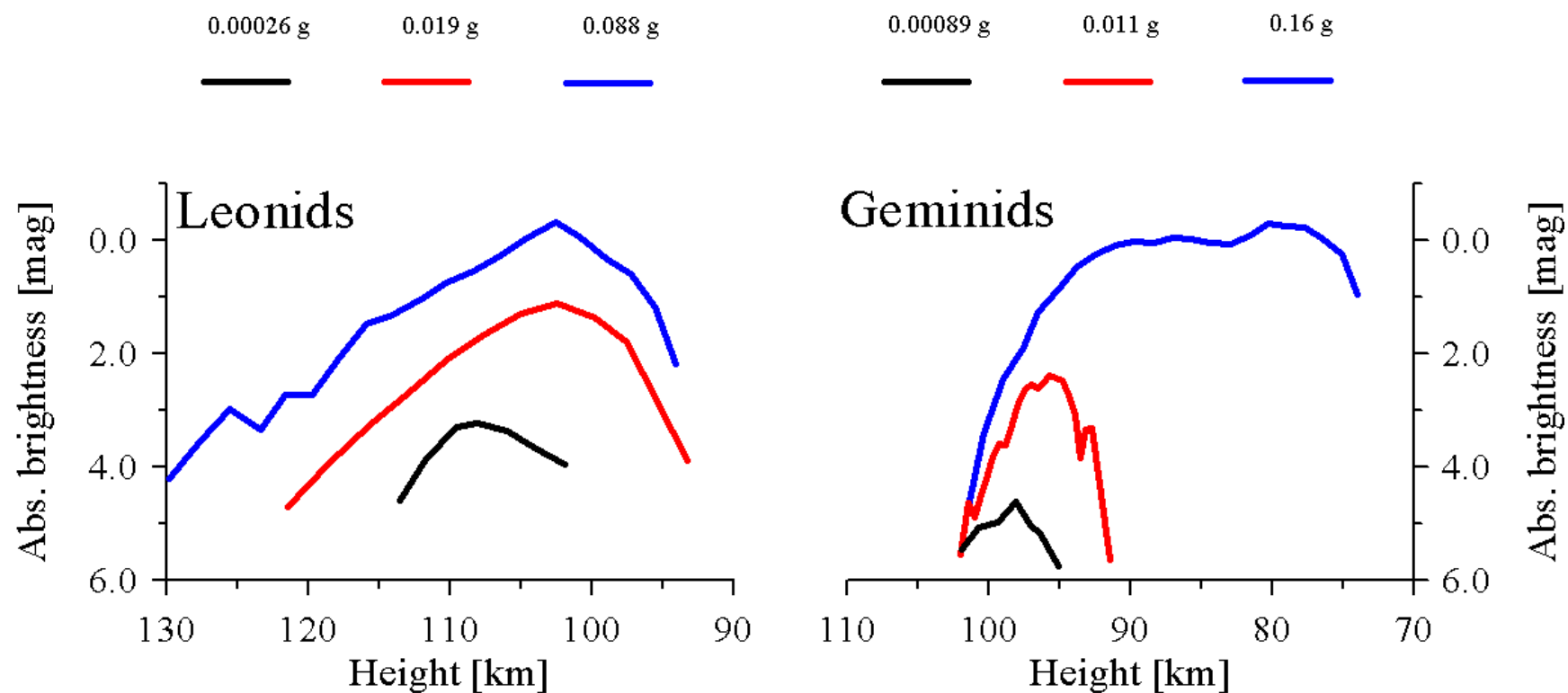
dvě populace

těles

rozdíl cca 10 km



Počáteční výšky Leonidy vs. Geminidy



Meteorické roje, sporadické meteory

kometa **Swift-Tuttle** – Lewis Swift, Horace P. Tuttle nezávisle v červenci 1862
Giovanni Schiaparelli na základě pozorování Perseid 1864 – 1866
poukázal na podobnost drah – poprvé souvislost mezi meteory a kometou

E.W.L.Tempel – XII. 1865,
H.P.Tuttle – I. 1866

souvislost s Leonidami
opět Schiaparelli (1867)

meteorické roje jsou spjaté
s kometami

další mateřská tělesa



Meteorický roj

proud částic, které se pohybují po paralelních drahách, mají stejný původ a na obloze stejný radiant

radiant – efekt perspektivy

pohyb Země kolem Slunce
- posun radiantu na obloze

pojmenování podle souhvězdí

IAU Task Group:

525 rojů

z toho 95 potvrzených

(snímek AGO Modra,
Leonidy 1998)

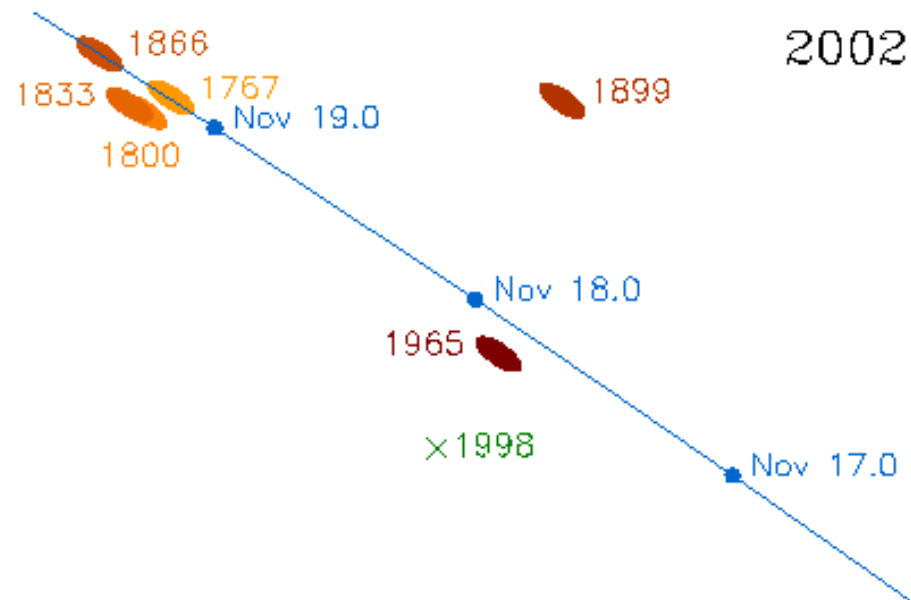


Vznik a vývoj roje

většinou kometární původ – kometa uvolňuje materiál v blízkosti perihelu, v její dráze pak vzniká prachový proud (dust trail)
různé průchody – různé proudy
vliv gravitace planet – propletené
omezená „životnost“

např. Leonidy 2002
(model J. Vaubaillon)
vlákna 1767, 1866:
meteorické deště nad
Evropou a S. Amerikou

asteroidální – kolize, rozpad?



Rojová příslušnost

kritérium podobnosti drah v prostoru dráhových elementů
např. Southworth-Hawkins (1963)

$$D_{SH} = (e_1 - e_2)^2 + (q_1 - q_2)^2 + \left[2 \sin\left(\frac{I}{2}\right) \right]^2 + \frac{(e_1 + e_2)}{2} \left[2 \sin\frac{\Pi}{2} \right]^2$$

kde I , Π jsou definovány na základě i , ω , Ω
obecně meteor patří k roji když $D_{SH} \leq 0,20$

existují i další kritéria, která využívají jiných parametrů drah

Sporadické meteory

dnes nepatří k žádnému roji

pozůstatky srážek těles ve Sluneční soustavě, rozptýlené staré meteorické roje apod.

na obloze náhodné časy a směry – ale denní a roční variace

- nejvíce ze směru apexu (směr pohybu Země) – ten kulminuje ráno, proto nejvíce sporadických meteorů rovněž k ránu

2-3x více sporadických meteorů k ránu než večer

- apex v rovině ekliptiky – nejvýše podzimní rovnodennost, nejnižší jarní rovnodennost (opět 2-3x více meteorů na podzim)
večer v březnu 2-4 ks/hod. --- ráno v září 8-16 ks/hod.

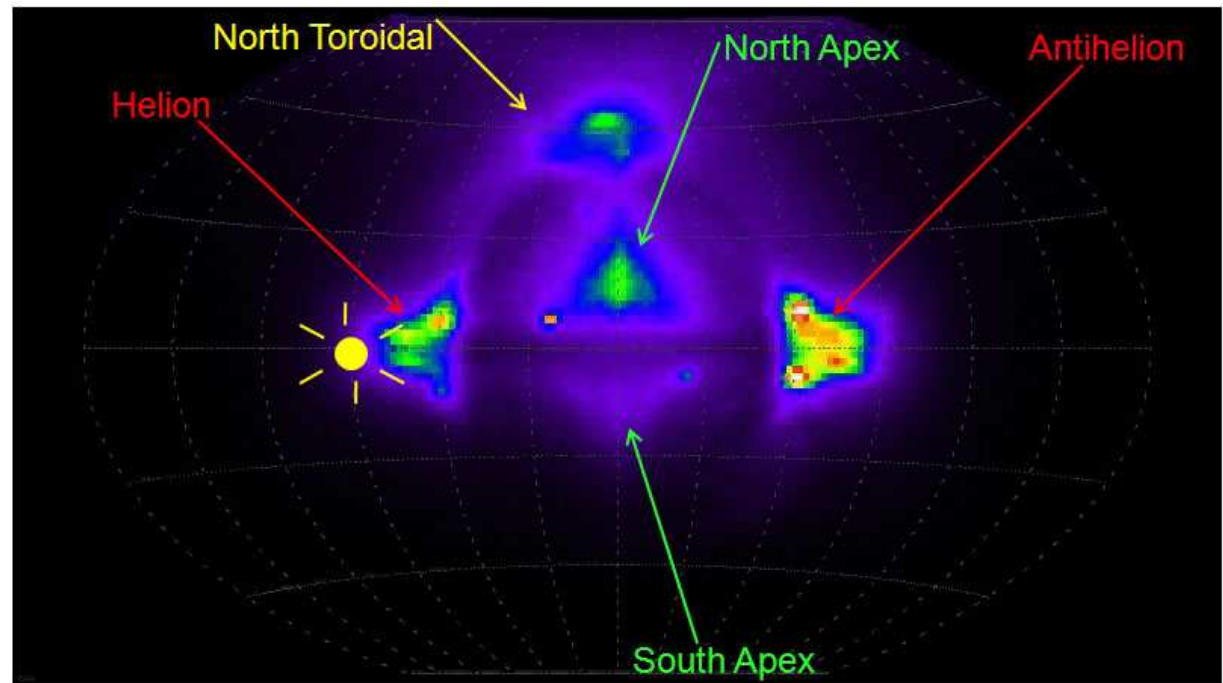
Zdroje sporadických meteorů

rozložení radiantů na obloze není zcela náhodné – 6 hlavních zdrojů sporadických meteorů (velká plocha radiantu až $20 \times 20^\circ$)

data – kanadský CMOR radar

helion, antihelion – nízký sklon, progradní dráhy, nižší rychlosti (31 km/s) – typické krátkoperiodické komety, asteroidy

N apex – vysoké sklony, rychlosti ~ 53 km/s
dlouhoperiodické komety
N toroidal – sklony kolem 60° , pozůstatek jediné komety nebo výjimečně stabilní dráha?





Děkuji vám za pozornost!