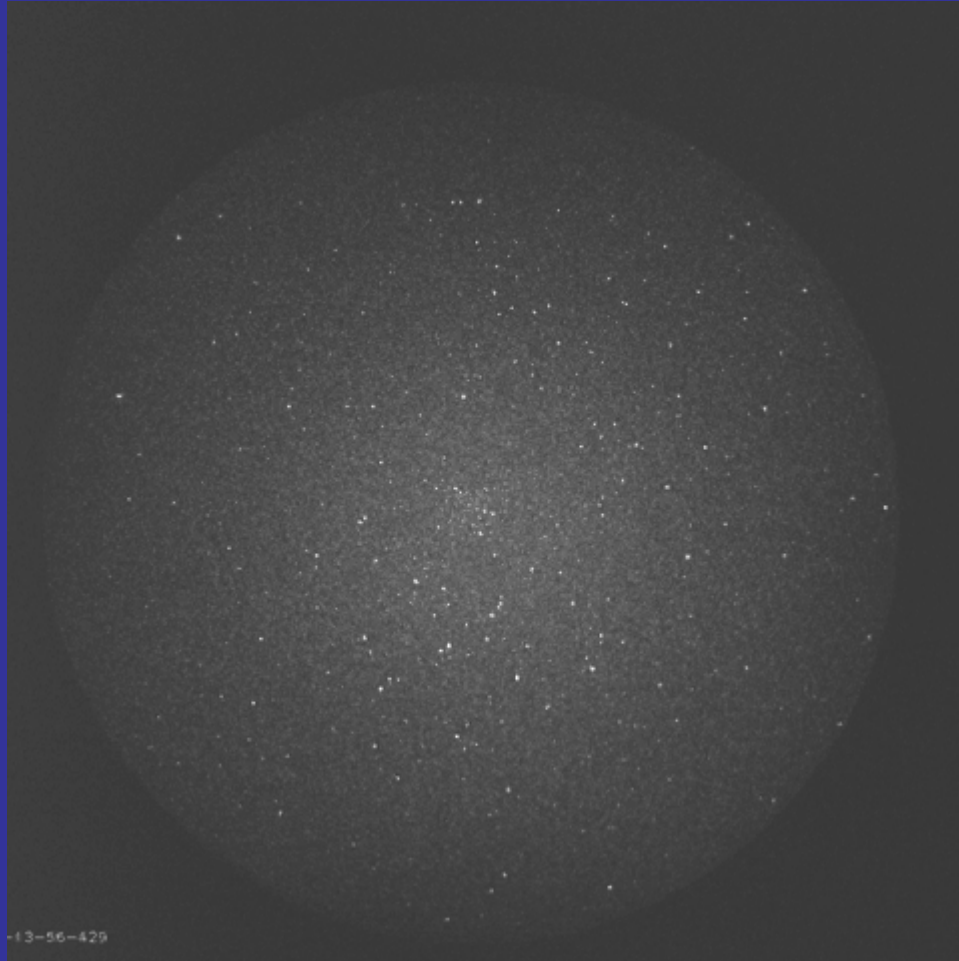


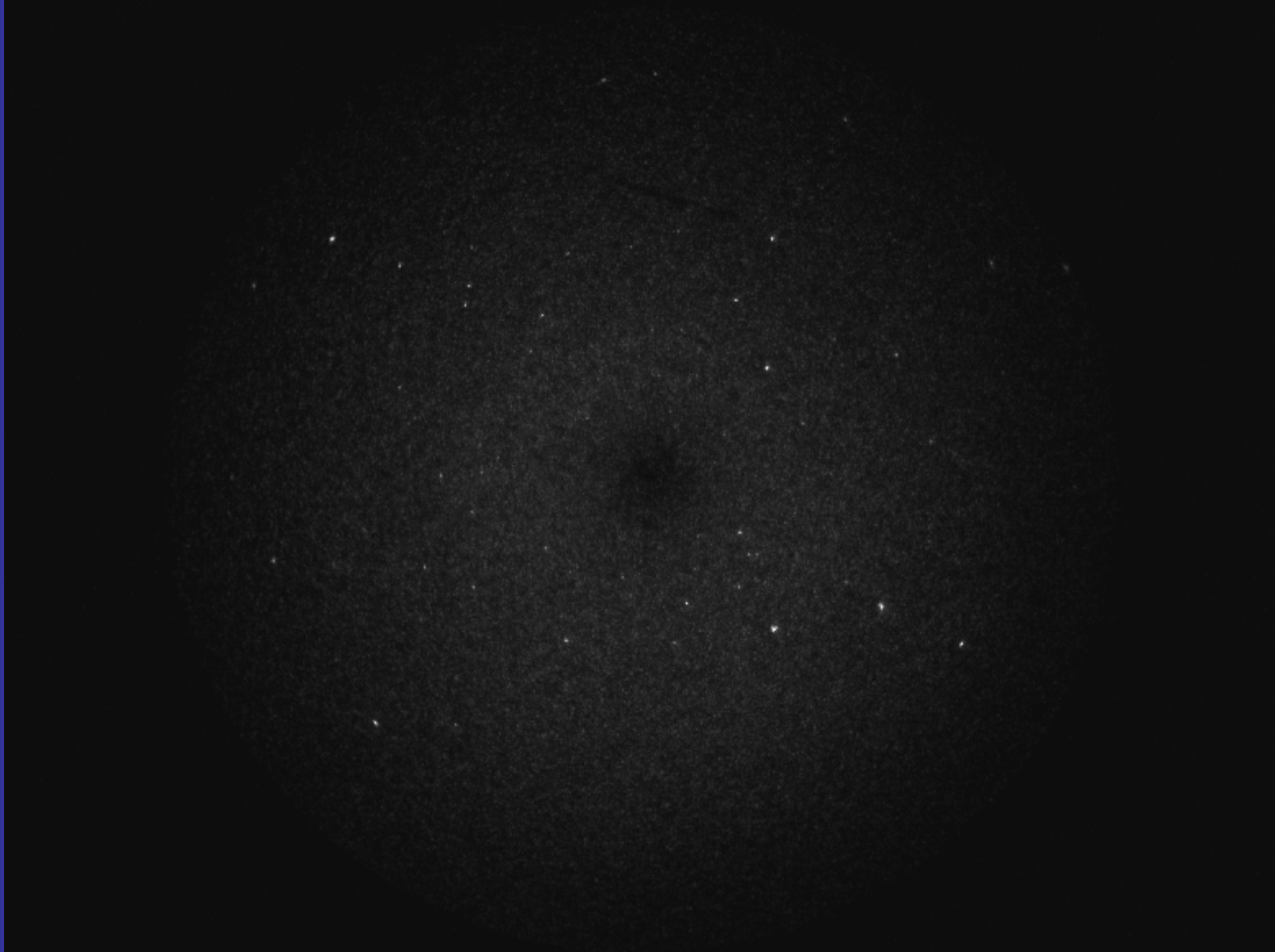
Poslové z vesmíru, meteory a meteority

Jiří Borovička

*Astronomický ústav AV ČR,
Ondřejov*

Meteor = padající hvězda





Meteor

- Z řeckého μετεώρωσ (meteoros) – jev odehrávající se v ovzduší
- Slovo meteorologie je stejného původu
- V staré češtině též létavice, povětroň
- Ve středověku považovány (dle Aristotela) za zemské výpary zapálené v ovzduší (podobně jako komety)
- 1798, Benzenberg a Brandes: Výšky a rychlosti meteorů odhadnuté pozorováním ze 2 míst ukazují jejich mimozemský původ

Kameny z nebe

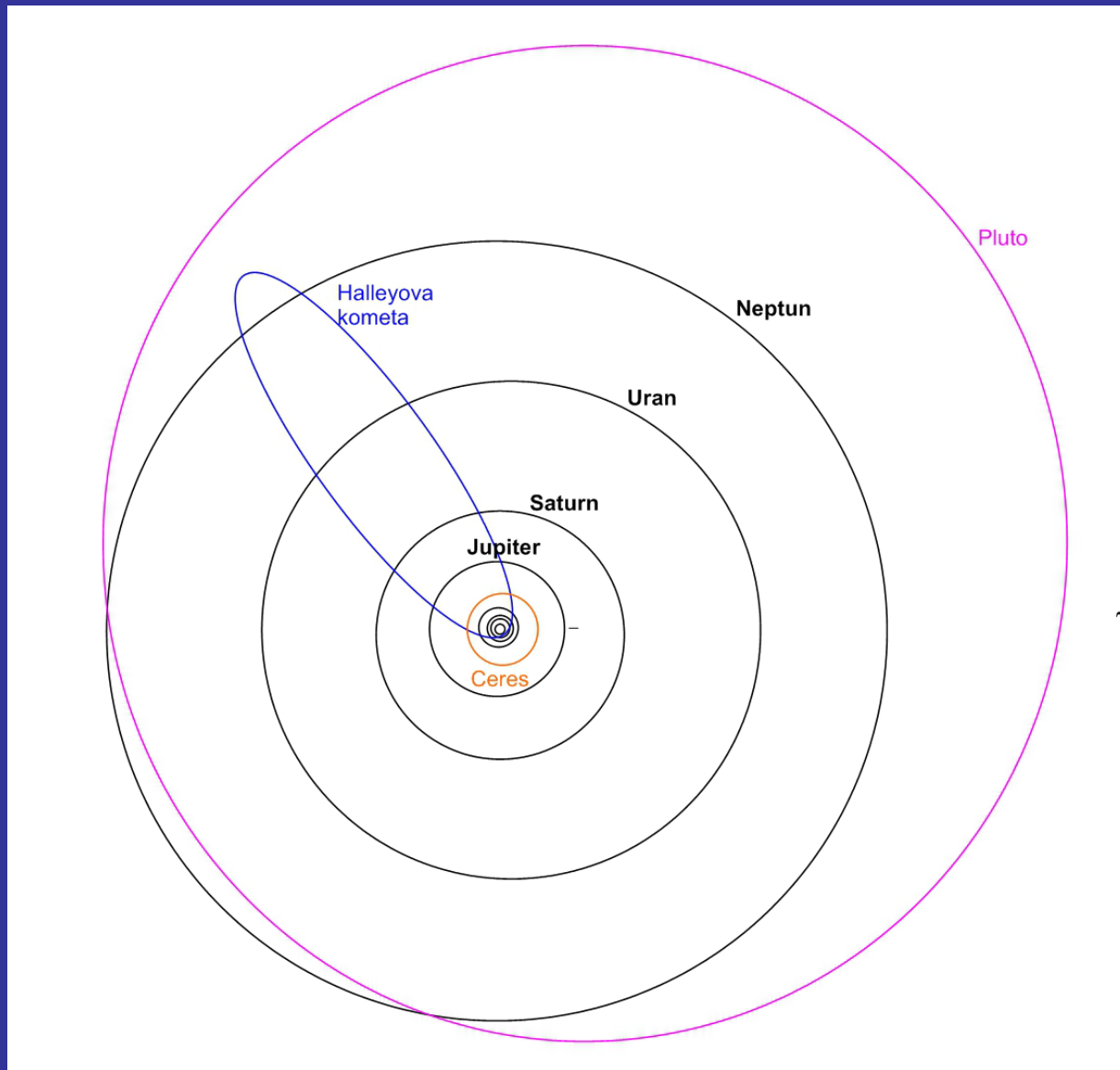
- Očití svědkové pádu kamenů z nebe
- 1790, Pařížská Akademie věd: "Kameny z nebe padat nemohou, a proto nepadají."
- 1794, Chladni: Mimoszemský původ spadlých kamenů a želez, spojení s jasnými meteory (**bolidy**)
- 1803: další hromadný pád ve Francii, uznání mimozemského původu = **meteority**



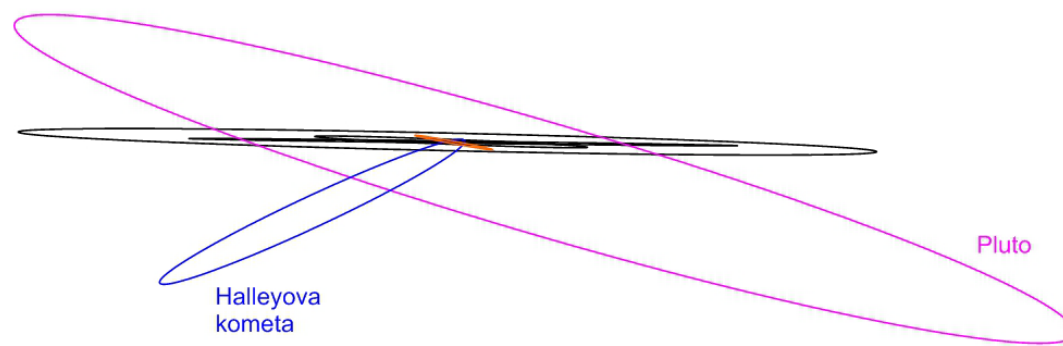
Meteorické deště

- 1799, 1833, 1866
– Leonidy
- Odhalena
souvislost
meteorických
dešťů a rojů s
kometami

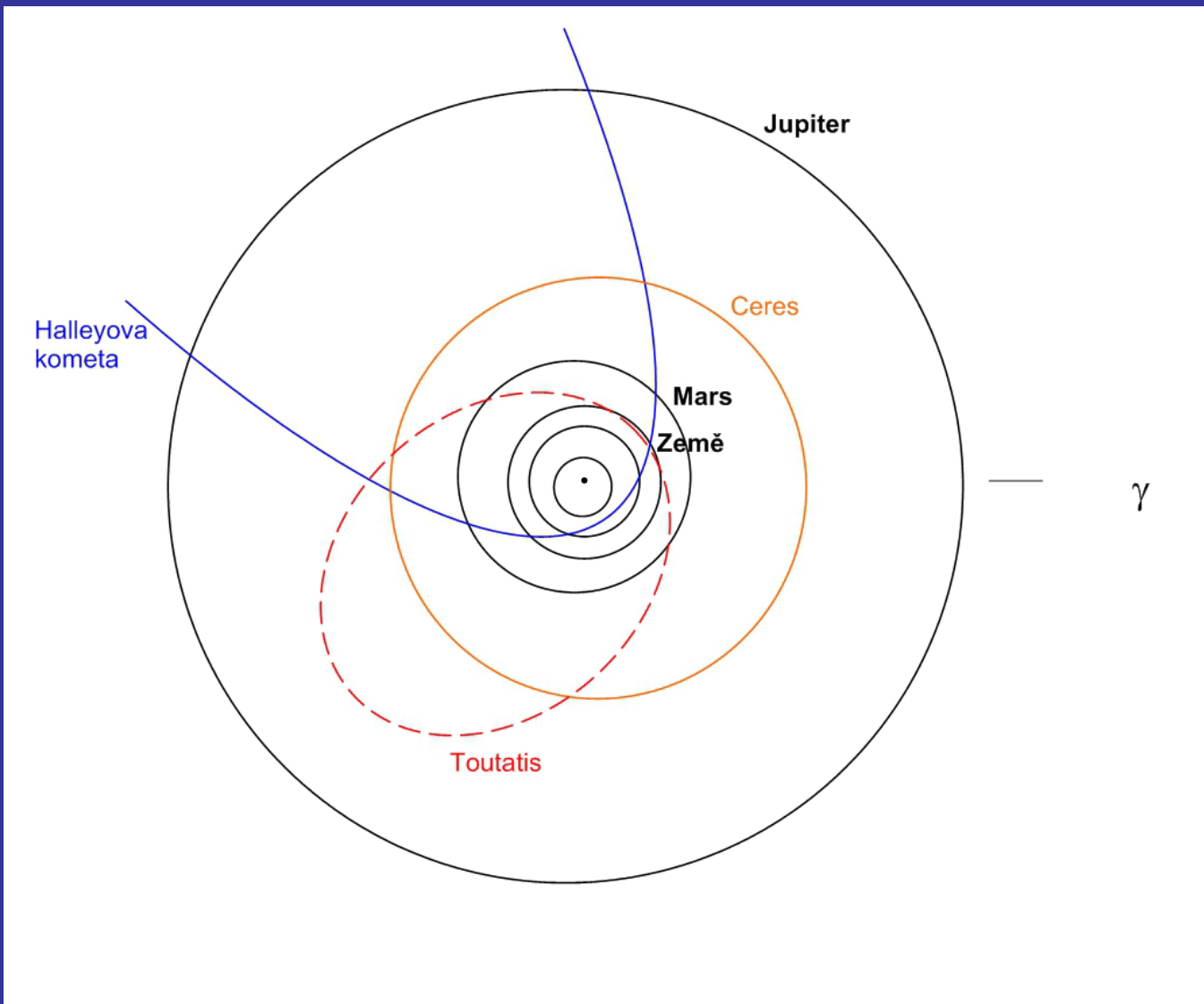
Sluneční soustava



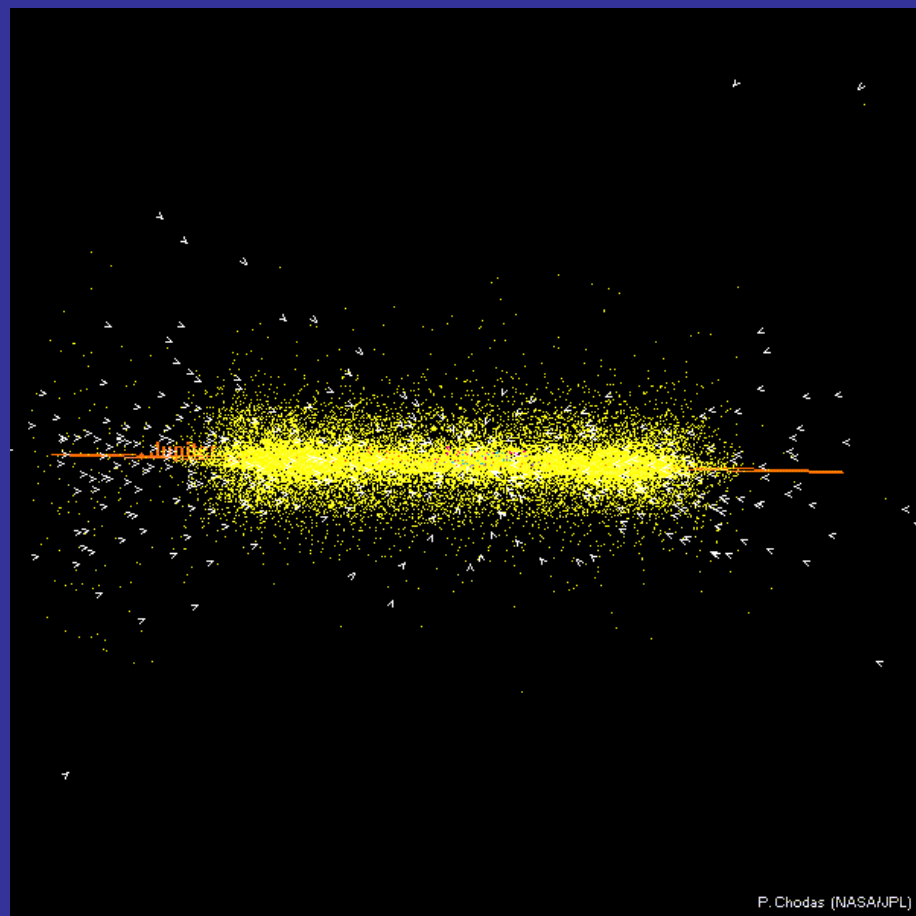
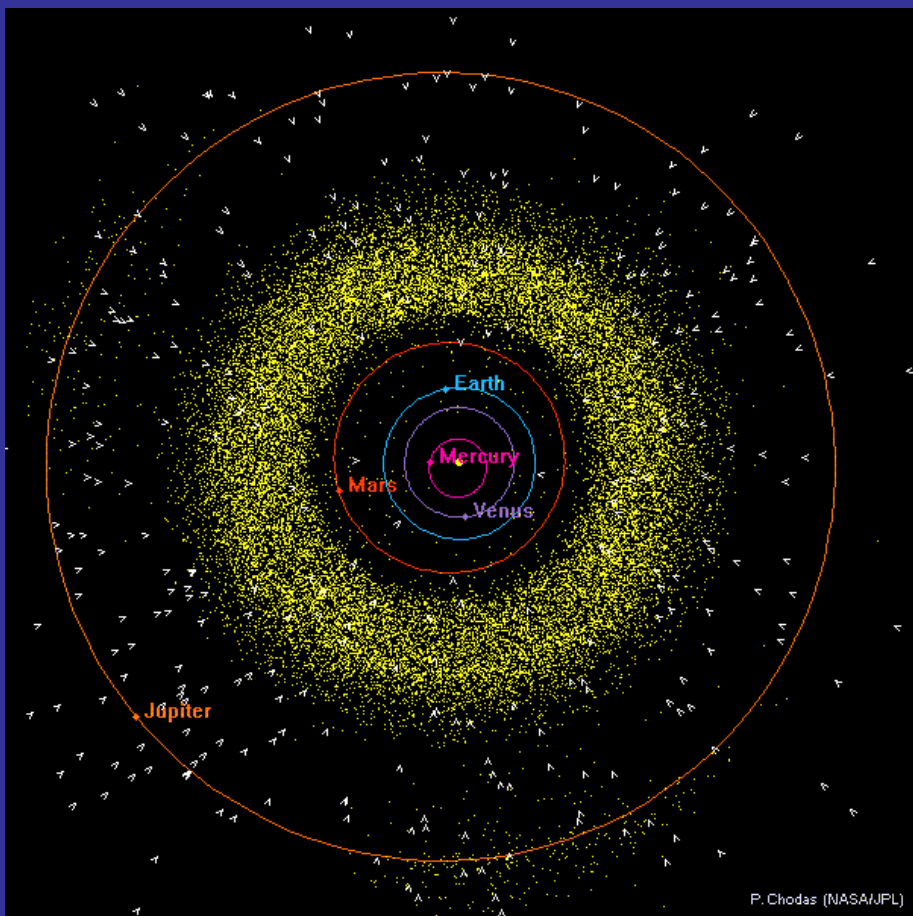
Pohled z boku



Vnitřní sluneční soustava



Všechna známá tělesa k 1.1.2018

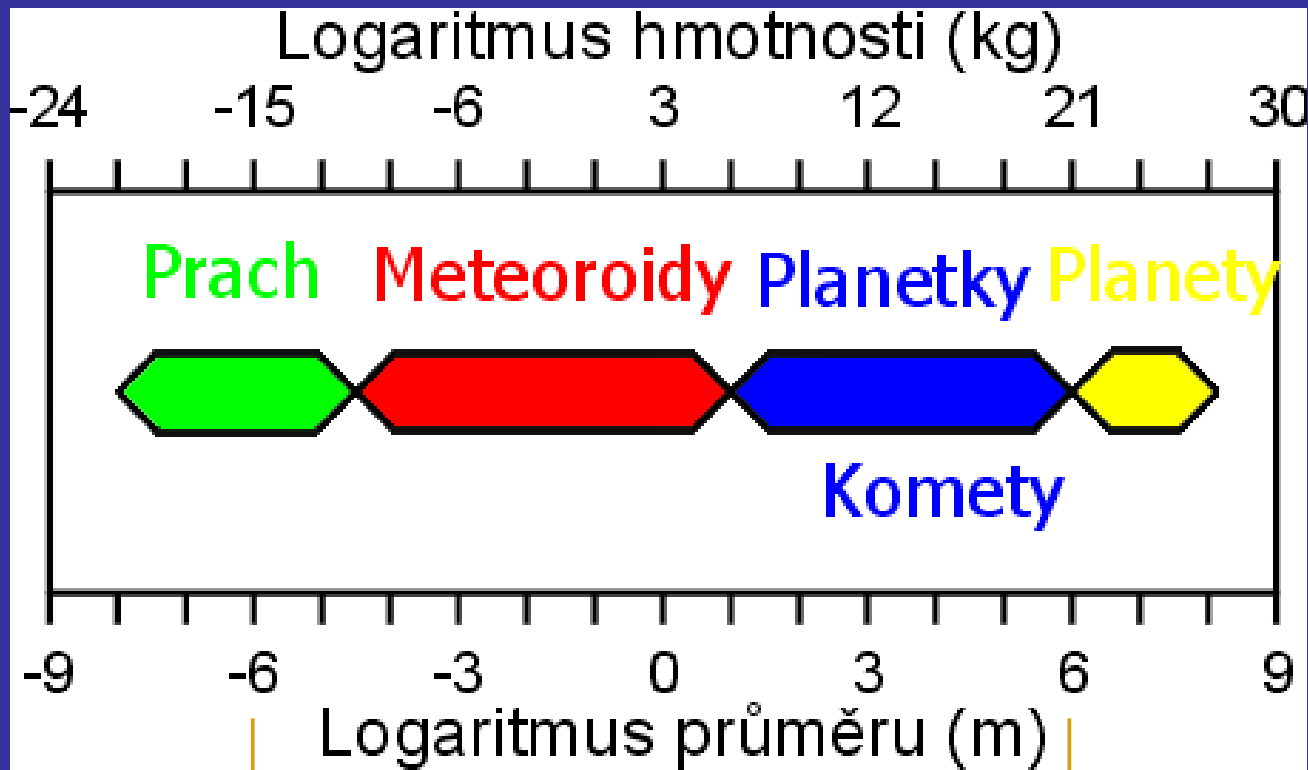


žluté tečky = planetky, bílé šipky = komety

Tělesa sluneční soustavy

- Součástí sluneční soustavy nejsou jen Slunce, planety a měsíce planet, ale i menší tělesa a jejich úlomky:
 - trpasličí planety
 - planetky (asteroidy)
 - komety
 - transneptunická tělesa
 - meteoroidy
 - prach

Velikosti těles



1 μm – 1 mm – 1 m – 1 km – 1000 km

Terminologie

- METEOROID – těleso
- METEOR – světelný úkaz vznikající při průletu meteoroidu atmosférou
- METEORIT – zbytek meteoroidu dopadlý na zem
- BOLID – meteor jasnější než -4 mag

Původ meteoroidů

- Žádné meteoroidy nezůstaly v blízkosti Země od doby vzniku sluneční soustavy před 4,6 miliardy let
- Důvody:
 - vzájemné srážky \Rightarrow drobení
 - změny oběžné dráhy vlivem gravitačních (přitažlivost planet) i negravitačních (tlak slunečního záření) poruch
 - srážka s planetou
 - odpaření v blízkosti Slunce
 - vypuzení ze sluneční soustavy
- Meteoroidy musí být průběžně doplňovány

Zdroje meteoroidů

- Hlavně
 - planetky
 - komety
- Také
 - planety (Mars)
 - měsíce planet (Měsíc)
 - mezihvězdný prostor
 - úlomky kosmických sond

Procesy vedoucí ke vzniku meteoroidů

1. Odpařování komet
2. Rozpady komet
3. Srážky mezi tělesy sluneční soustavy (zvláště mezi planetkami)

Kometa při pohledu ze Země



kometa McNaught v roce 2007 z jižní polokoule

prachový chvost milióny km dlouhý

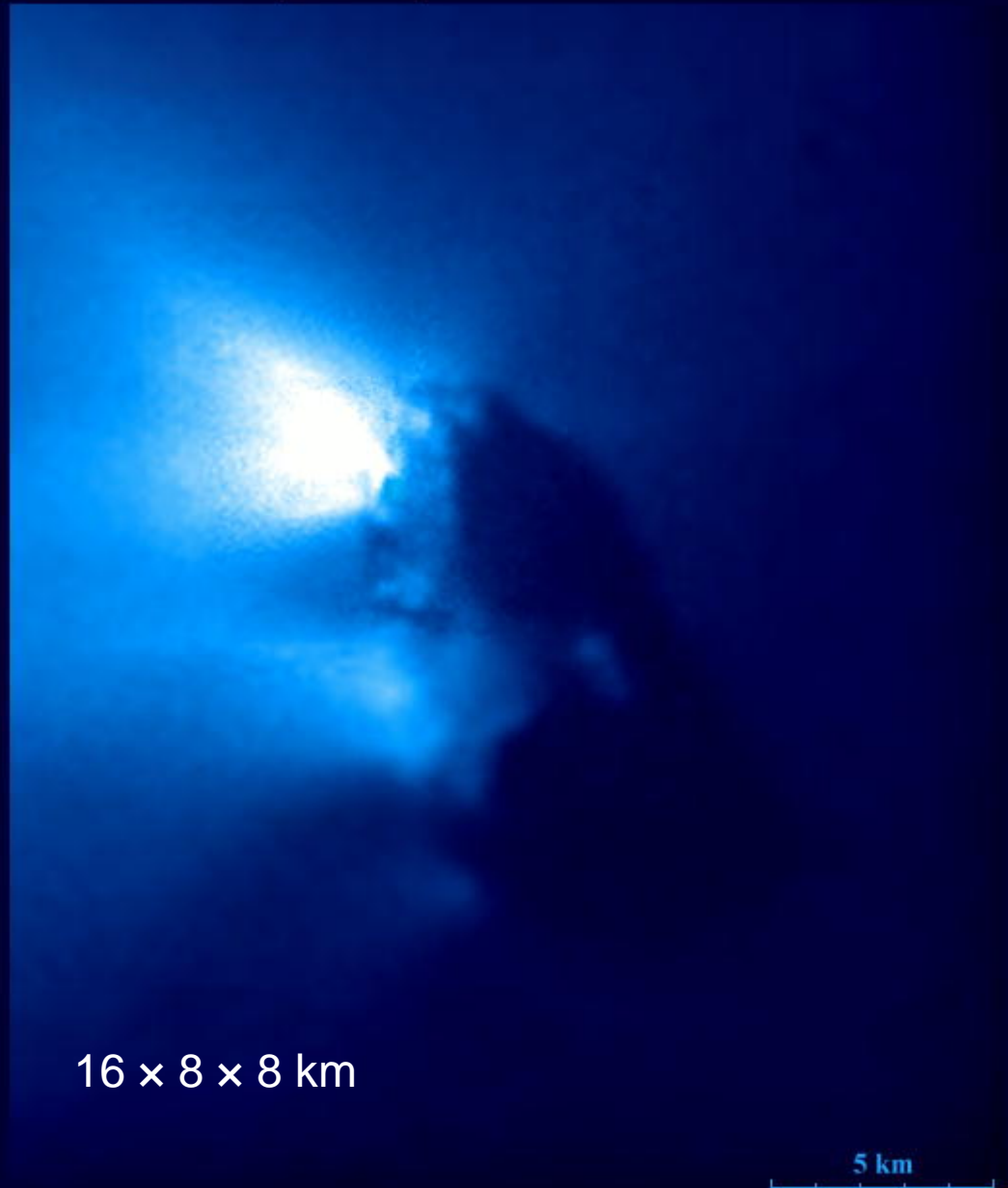


kometa Hale-Bopp v roce 1997

Kometa z blízka

Halleyova
kometa
(1P/Halley)

Mosaic of Giotto Images of Halley



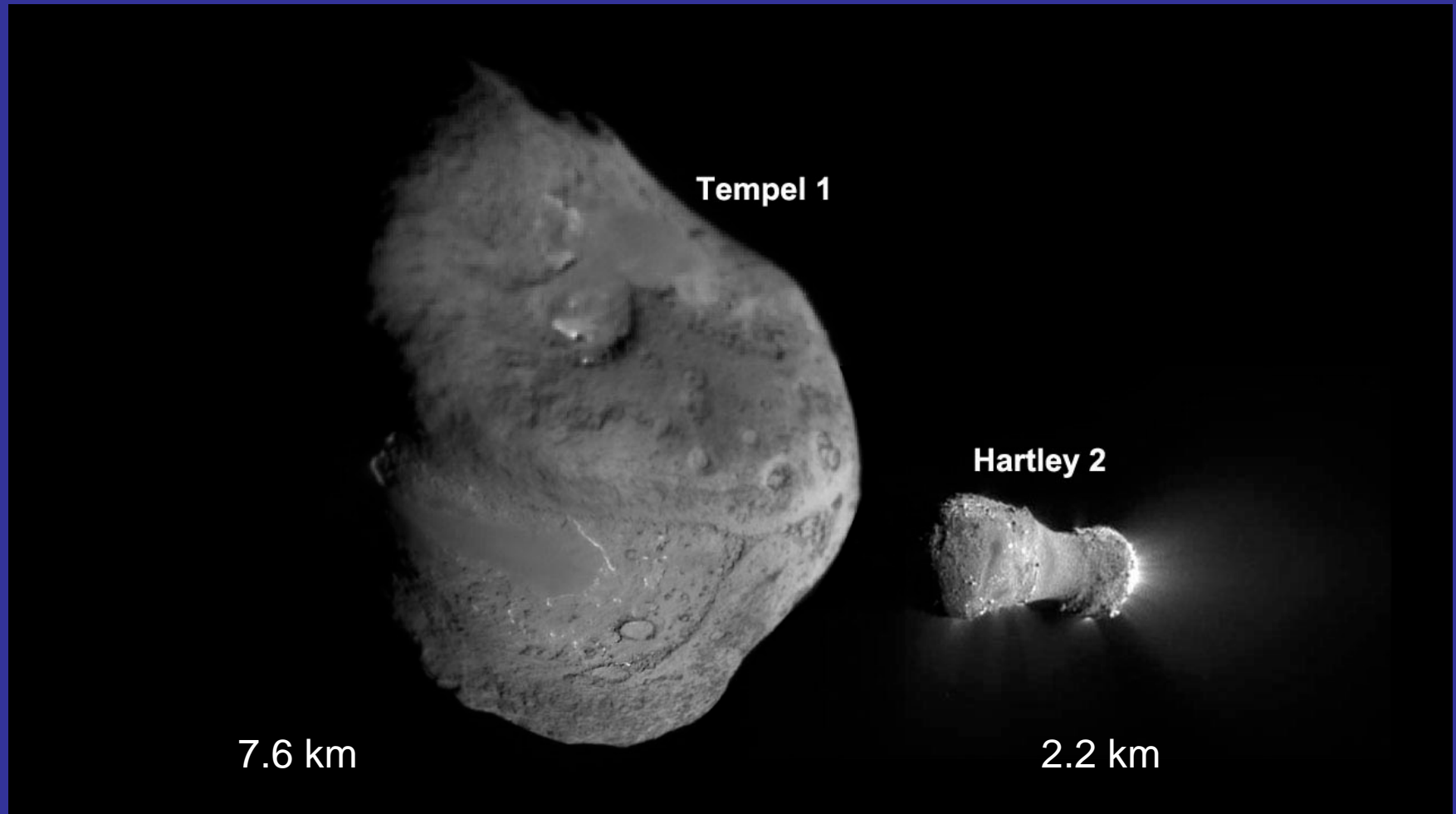
16 × 8 × 8 km

5 km

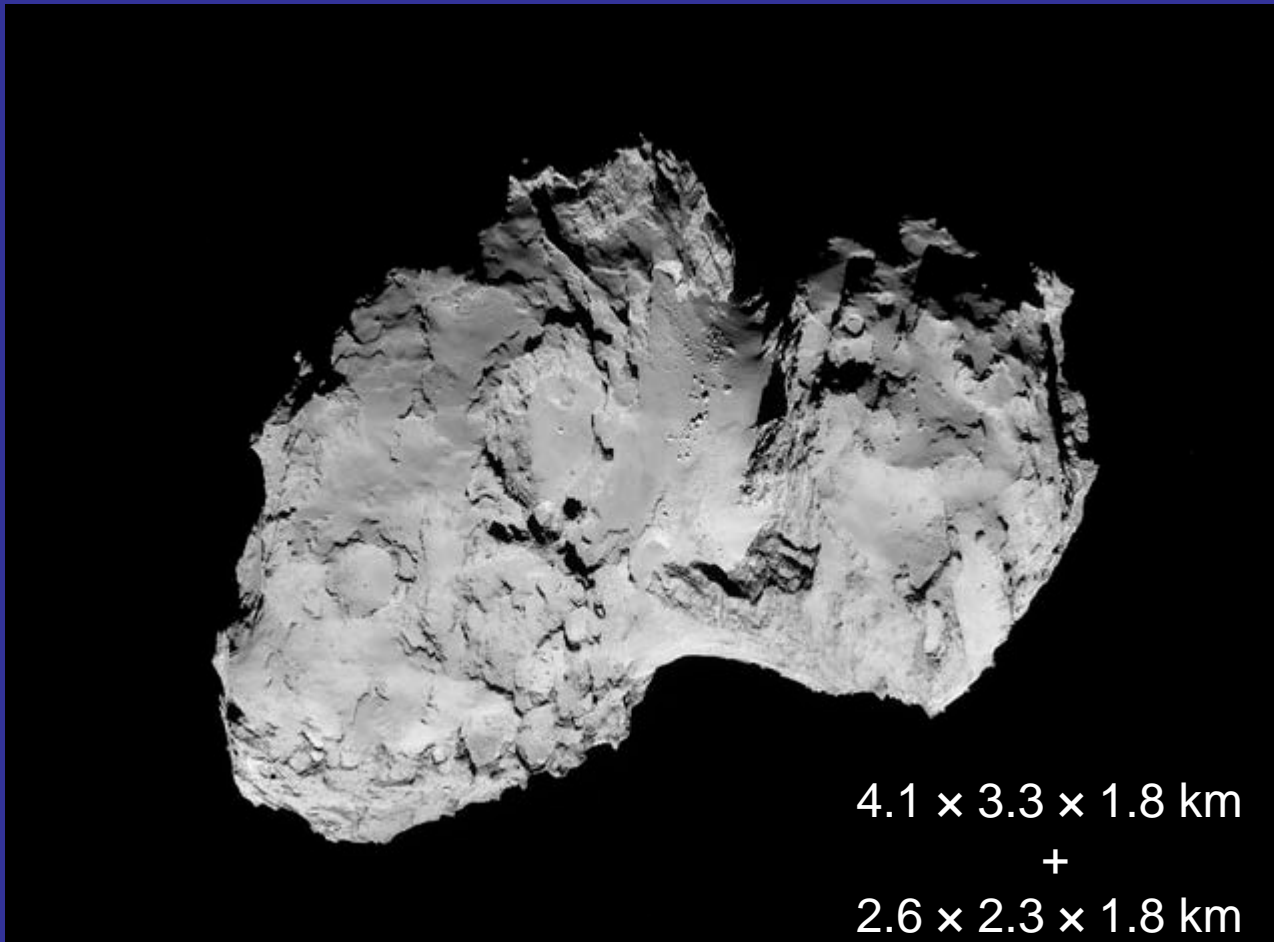
sonda Giotto, 1986

Halley Multicolor Camera Images 1815, 3457, 3475, 3480, 3486, 3491, 3496, 3503
(Giotto Images Courtesy of Dr. H.U. Keller, Max-Planck-Institut fuer Aeronomie)

Jádra komet 9P/Tempel 1 a 103P/Hartley 2

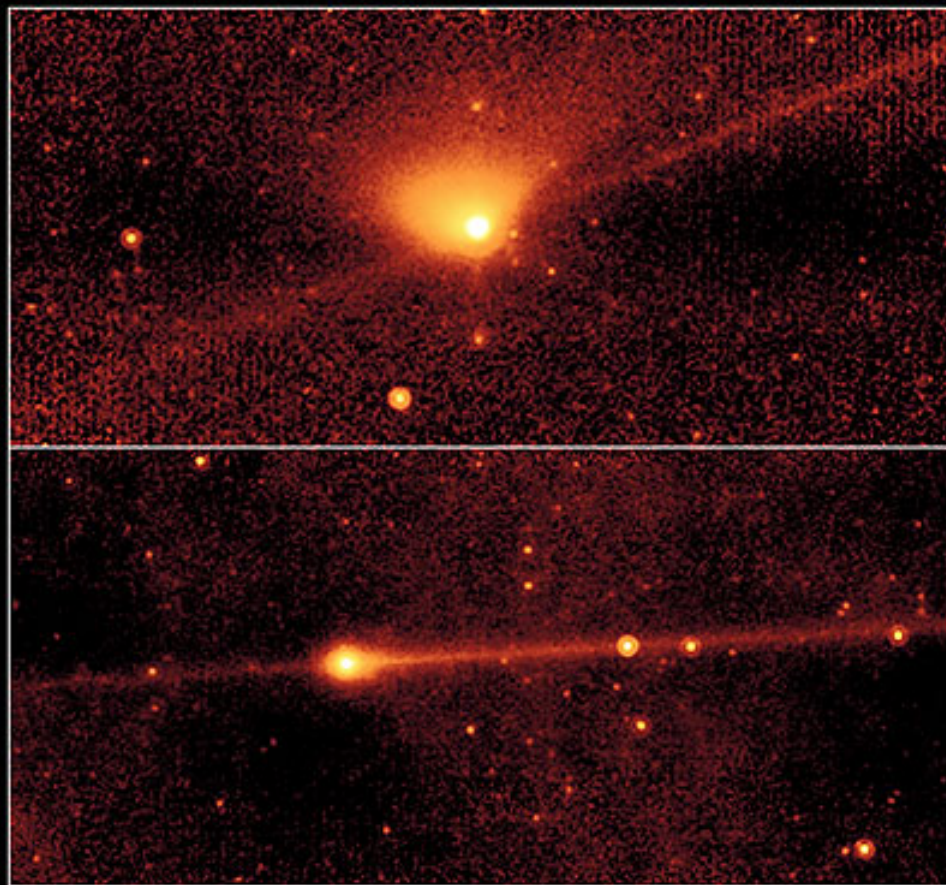


Jádro komety 67P/Churyumov-Gerasimenko



sonda Rosetta, 2014

Proudy
meteoroidů
v drahách
komet



Comets Johnson & Shoemaker-Levy 3

NASA / JPL-Caltech / W. Reach (Caltech)

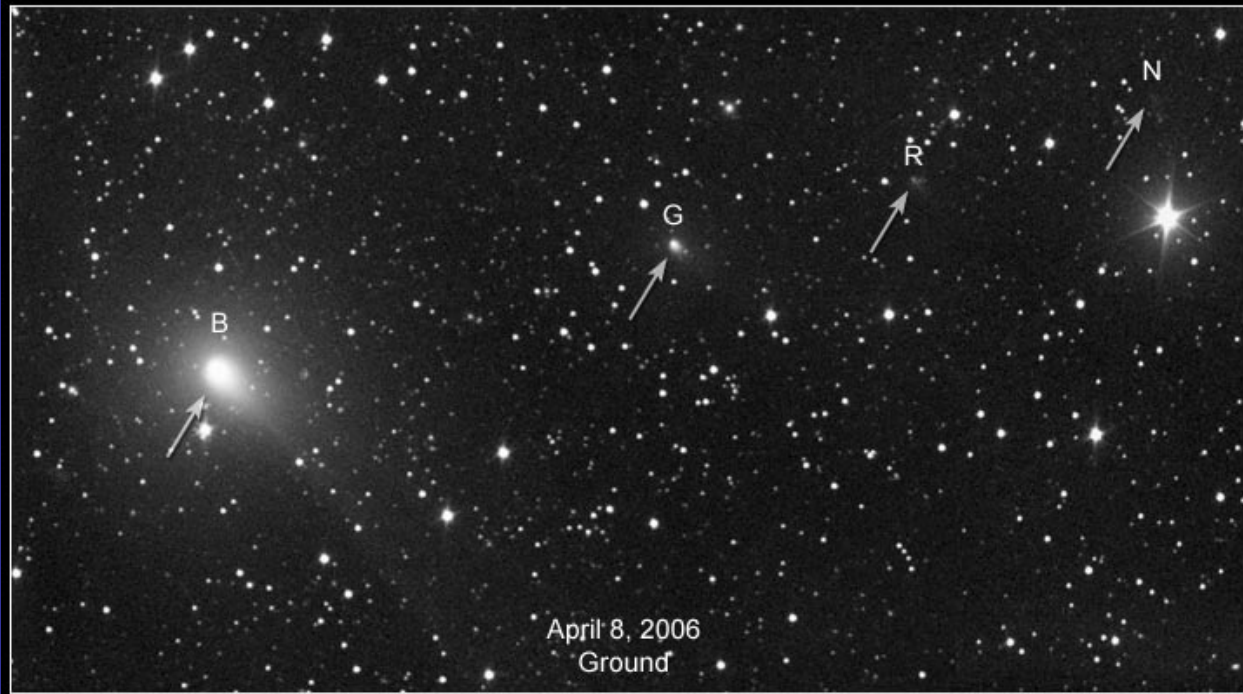
Spitzer Space Telescope • MIPS

sig05-008

Rozpad komety 73P/ Schwassmann -Wachmann 3

Comet 73P/Schwassmann-Wachmann 3

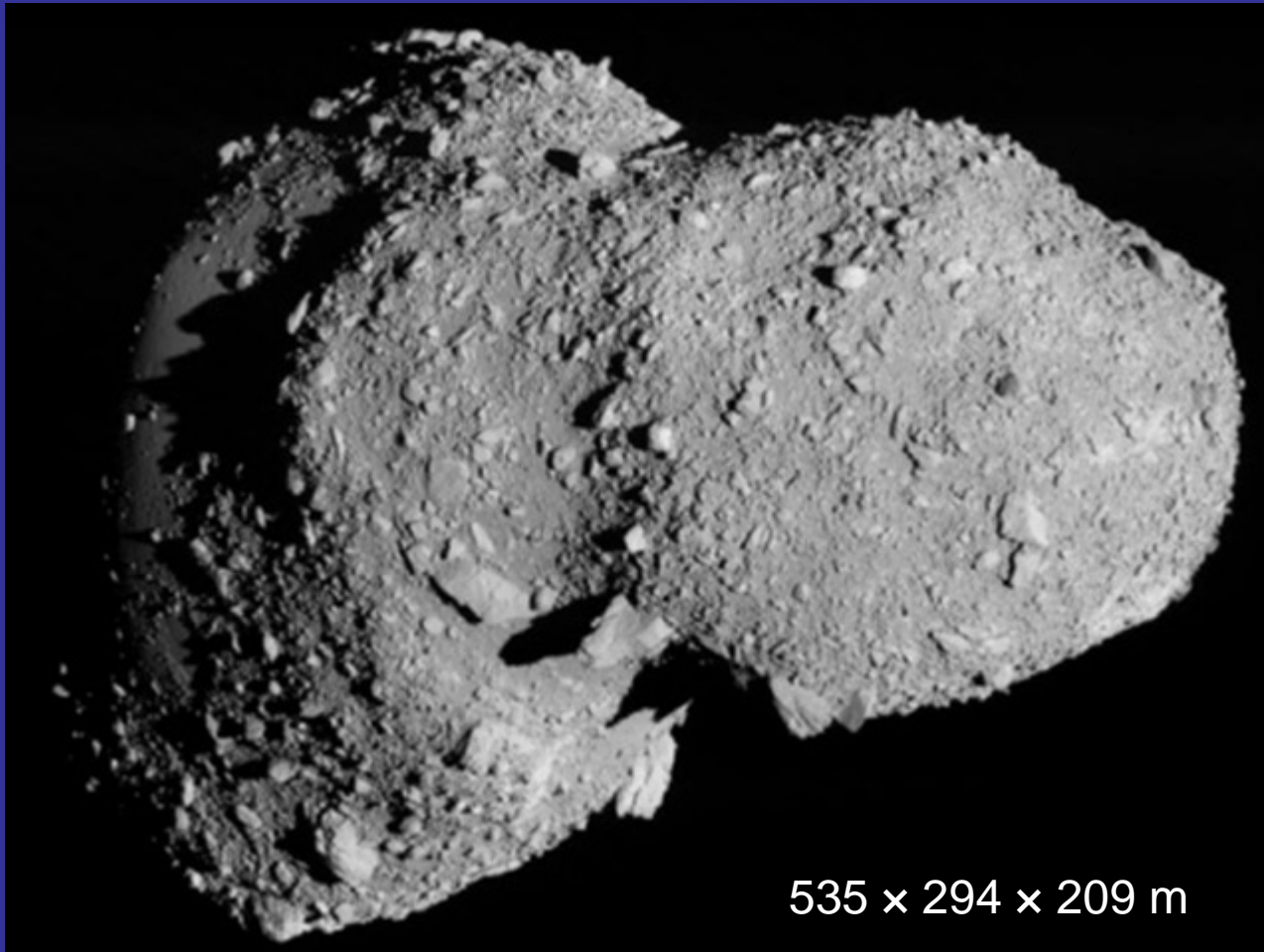
HST ■ ACS/WFC



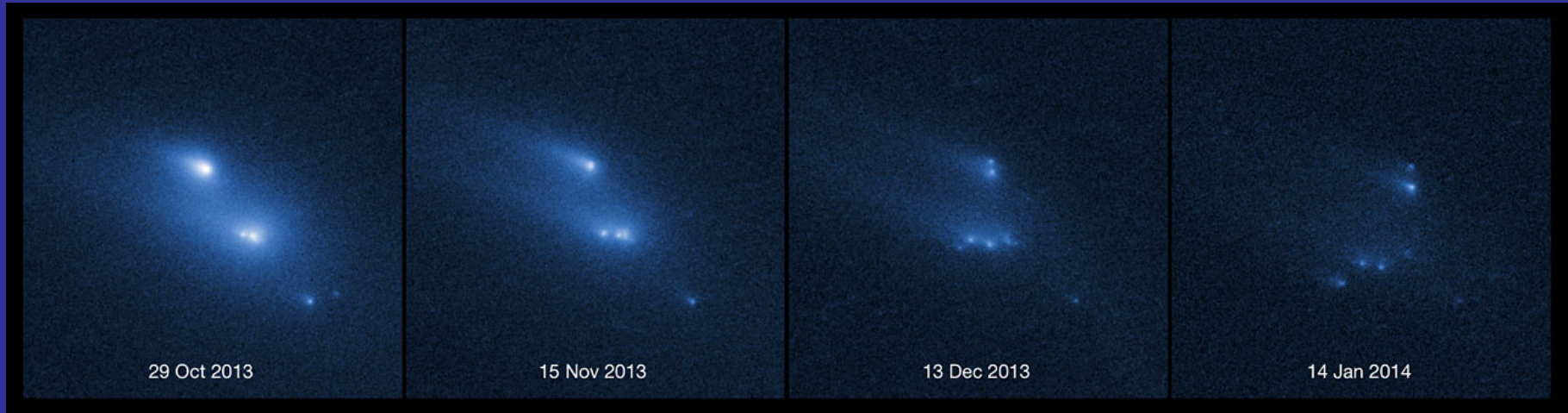
Planetka (243) Ida a její souputník Dactyl



Planetka (25143) Itokawa



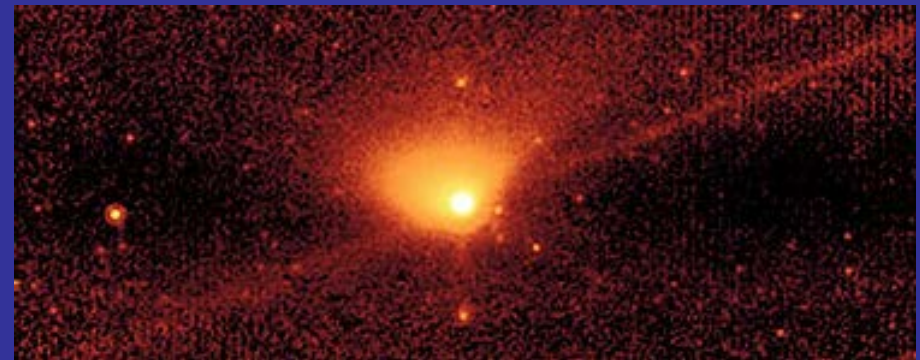
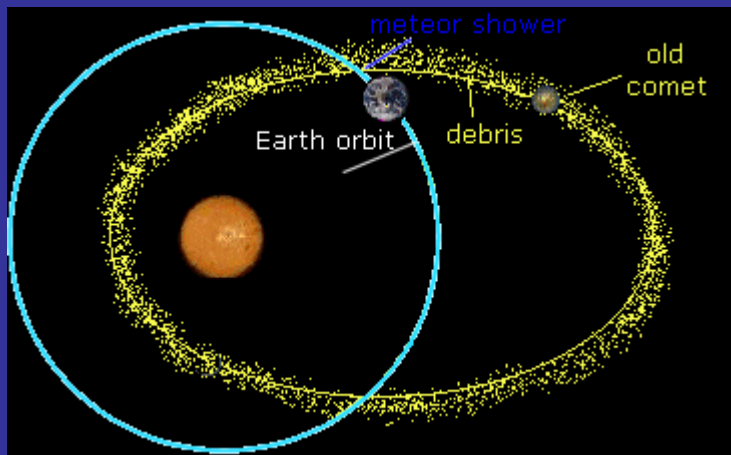
Rozpadající se asteroid P/2013 R3



HST

Meteorický proud

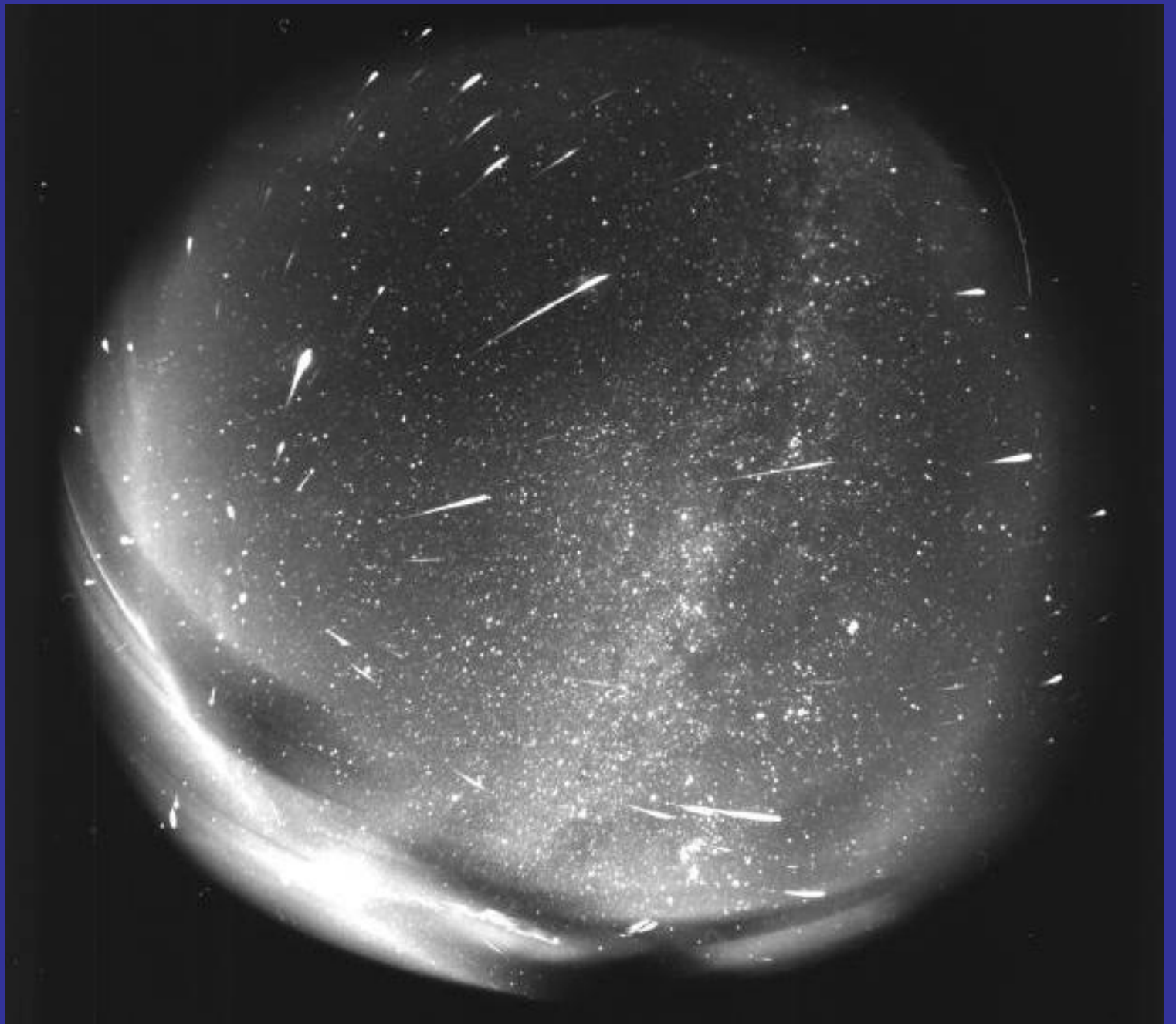
- Meteoroidy uvolněné z komety (či asteroidu) obíhají Slunce po podobné dráze jako jejich mateřské těleso
- Protože oběžné doby se trochu liší, postupně se rozptýlí podél celé dráhy



Rojové a sporadické meteory

- V době, kdy Země prochází meteorickým proudem, pozorujeme meteorický roj (nebo déšť)
- Meteorické roje jsou tvořené meteoroidy na podobných drahách – v atmosféře rovnoběžné
- Kompaktní roje obsahují mladé meteoroidy: desítky až stovky let
- Roje se postupně rozplývají a přecházejí ve sporadické pozadí

Leonidy
1998



Nejvýznamnější každoroční roje pozorované na Zemi

Roj	Max	ZHR	Mateřské těleso	Perioda
Quadrantidy	4. I.	120	2003 EH1	5,53
Lyridy	21. IV.	15	C/Thatcher	415
η Aquaridy	5. V.	40	1P/Halley	75,3
δ Aquaridy	29. VII.	20	Krachtova skupina	~ 5
Perseidy	13. VIII.	80	109P/Swift-Tuttle	133
Orionidy	22. X.	25	1P/Halley	75,3
Tauridy	~ 5. XI.	15	2P/Encke	3,3
Geminidy	13. XII.	110	3200 Phaethon	1,43

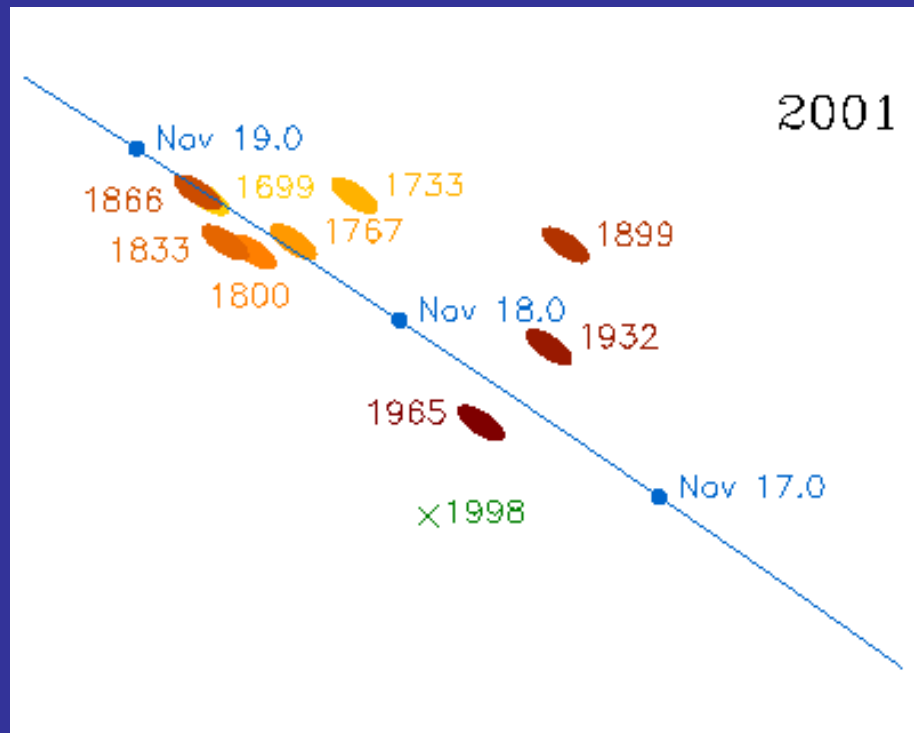
Nejvýznamnější meteorické deště (1)

Roj	Rok	ZHR	Mateřské těleso	Perioda
Leonidy	1799	> 5000	55P/Tempel-Tuttle	33,2
	1832	2000		
	1833	60 000		
	1866	15 000		
	1867	6000		
	1966	140 000		
	1999	3700		
	2001	1600 +2600		
	2002	2300 +2700		

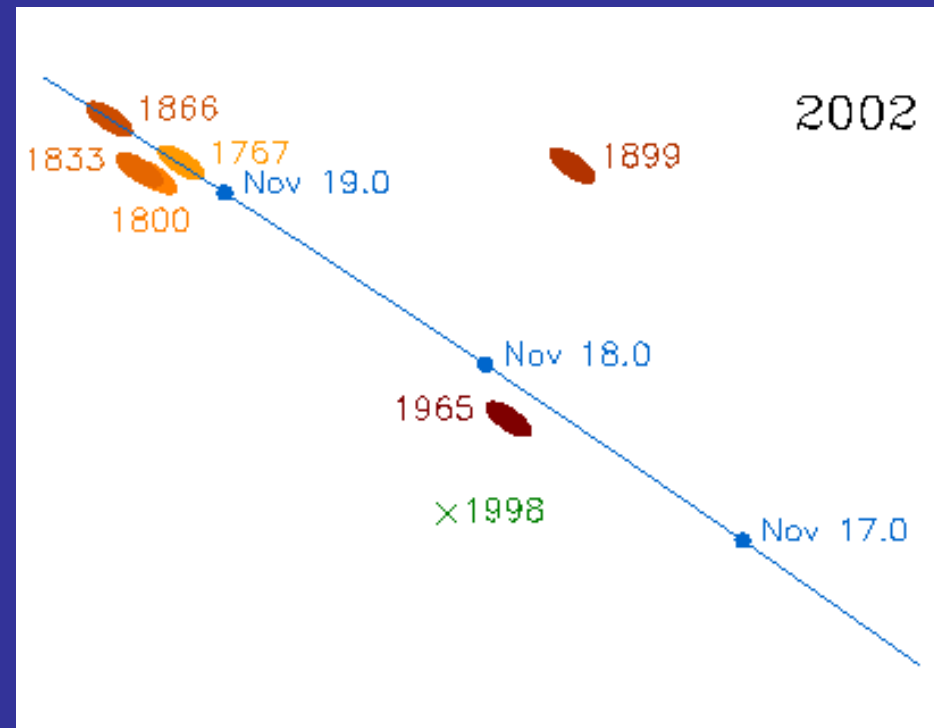
Nejvýznamnější meteorické deště (2)

Roj	Rok	ZHR	Mateřské těleso	Perioda
Draconidy	1933	10 000	21P/Giacobini-Zinner	6,62
	1945	12 000		
	1985	700		
	1998	700		
Andromedidy	1872	7500	3D/Biela	6,65
	1885	6500		

Předpovědi zvýšené aktivity

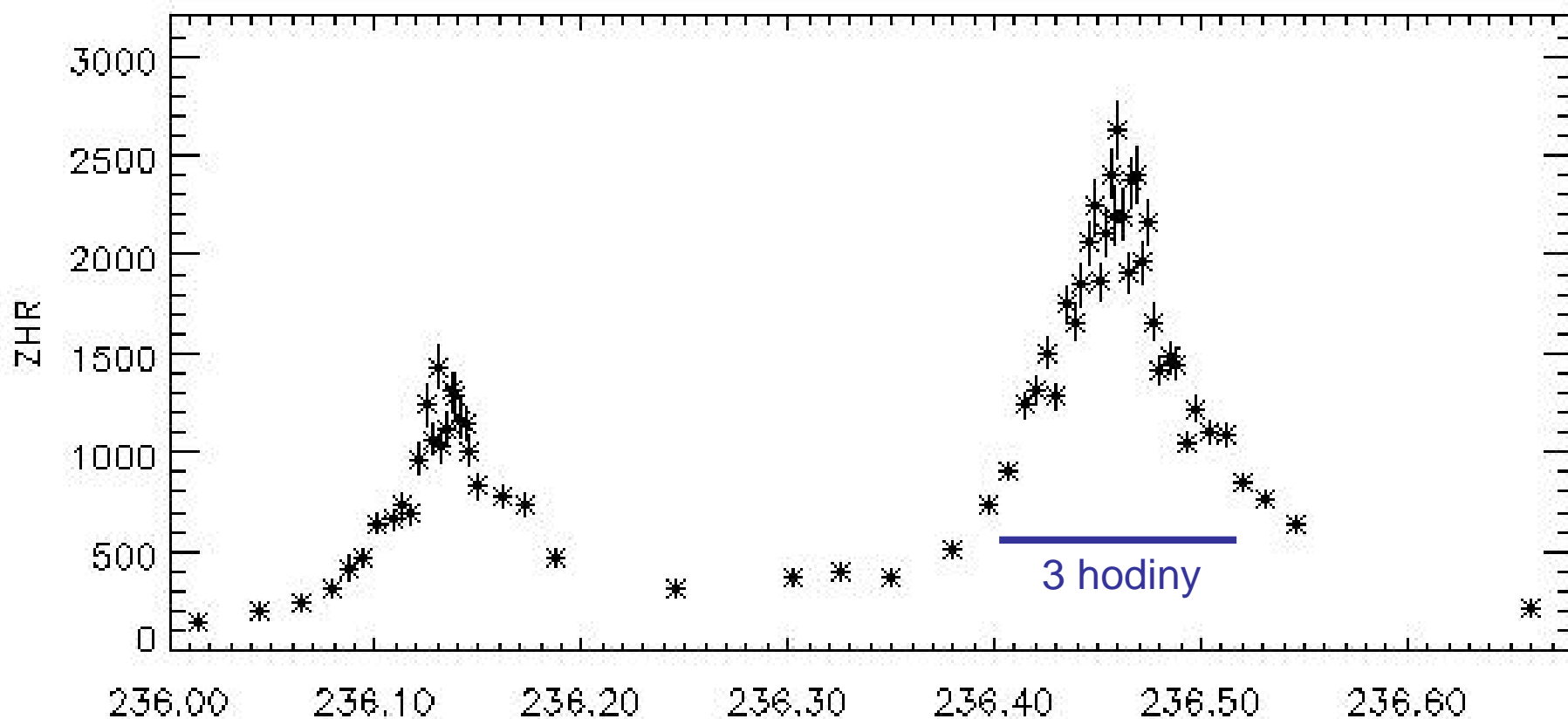


Leonidy 2001



Leonidy 2002

Průběh aktivity Leonid v roce 2002



Meteoroid při střetu se Zemí

1. Nahřívání

- povrch se ohřívá v důsledku srážek s molekulami vzduchu
- ojediněle dochází k vyražení atomu meteoroidu (*sputtering*)
- ve výškách 300–100 km

2. Ablace (ztráta hmoty)

- povrch se taví a intenzivně odpařuje
- po dosažení asi 2000 K
- vytváří se oblak horkých par
- meteoroid se brzdí
- často se rozpadá na úlomky

Meteoroid při střetu se Zemí

3. Temná dráha

- po zabrždění pod ≈ 3 km/s přestává ablace
- bolid pohasíná
- po zabrždění nastává volný pád (z výšek pod 30 km)
- trvání několik minut

4. Dopad meteoritu na zem

- vertikálně rychlostí 10 – 100 m/s

Kosmický prostor

METEOROID

Orbitální
pohyb

*Miliony
let*

Zahřívání

Atmosféra

BOLID

Ablace
(odpařování)

Záření

Brždění

*Několik
sekund*

Rozpad na úlomky

Temná dráha

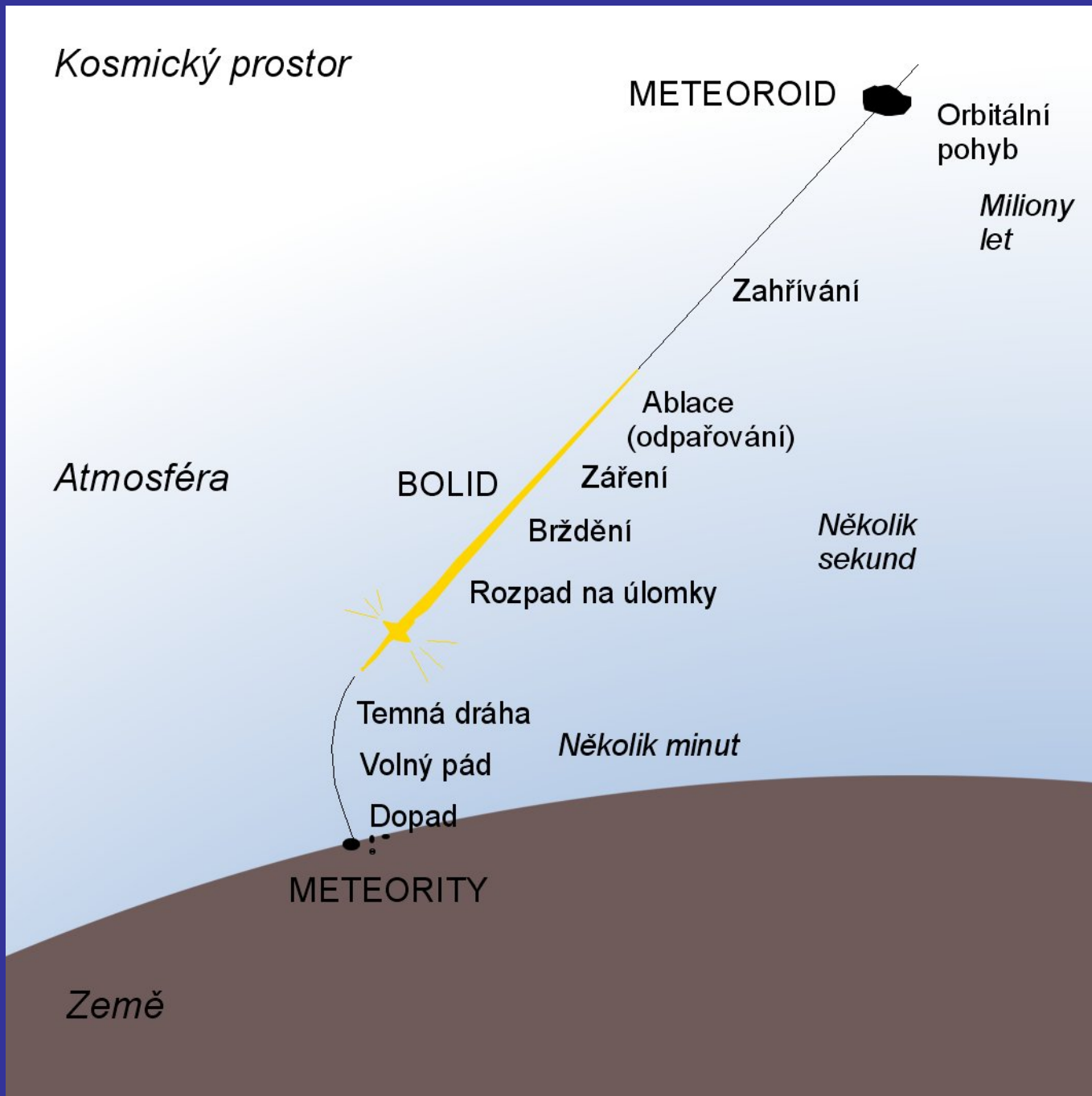
Několik minut

Volný pád

Dopad

METEORITY

Země



Rychlosti meteorů

$$v = \sqrt{|\mathbf{v}_H - \mathbf{v}_Z|^2 + v_{\dot{u}}^2}$$

v_H – rychlost meteoroidu vůči Slunci ($v_H \leq 42,4$ km/s)

v_Z – rychlost Země vůči Slunci ($29,3 \leq v_Z \leq 30,2$ km/s)

$v_{\dot{u}}$ – úniková rychlost s povrchu Země ($v_{\dot{u}} = 11,2$ km/s)

$$11,2 \leq v \leq 73,5 \text{ km/s}$$

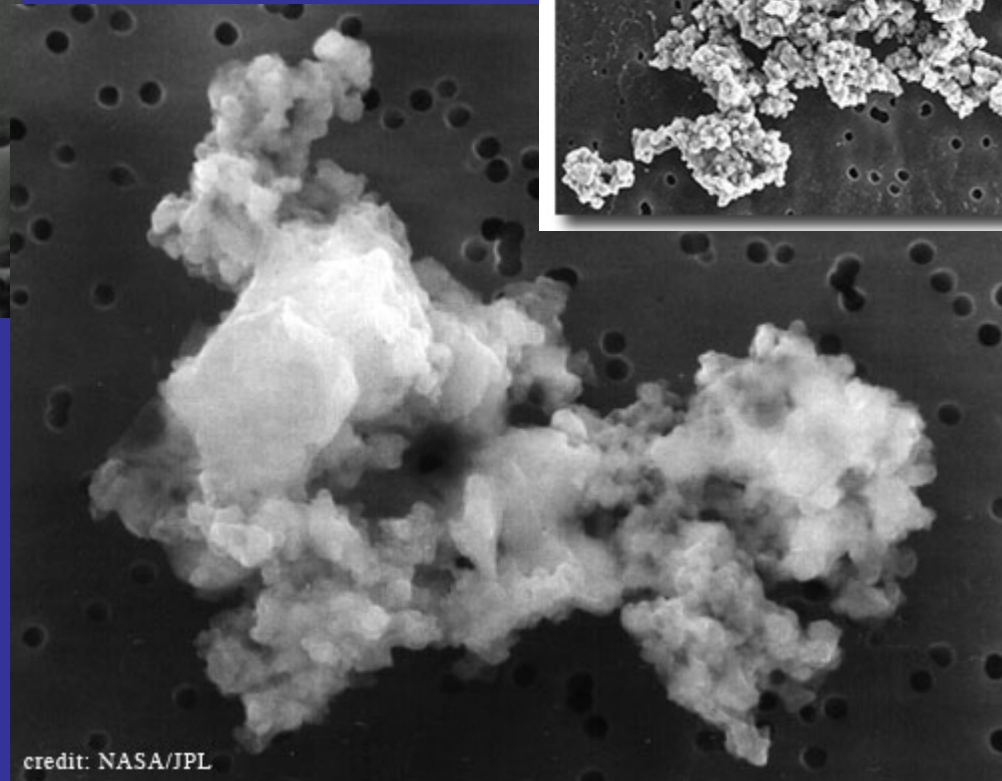
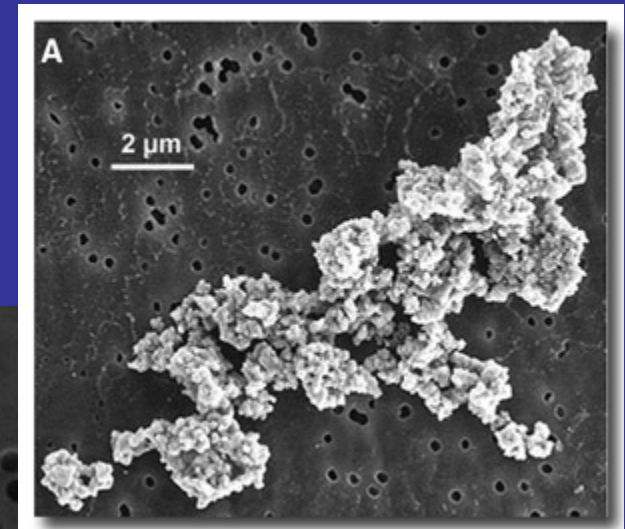
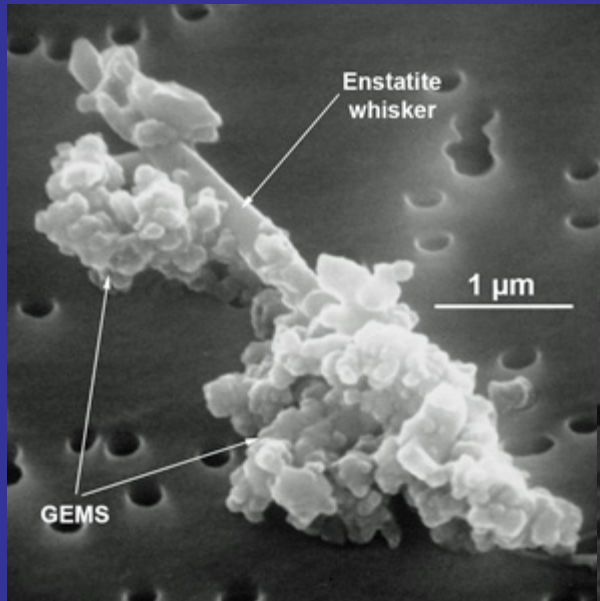
Velikosti meteoroidů

- Jasnost meteoru závisí na hmotnosti a výrazně také na rychlosti meteoroidu
- Běžné meteory jsou způsobené tělesy o rozměrech několika milimetrů
- Jasně a pomalé bolidy (jako Měsíc v úplňku) – desítky centimetrů
- Superbolidy – více než metr

Režimy střetů se Zemí

	Nahřívání	Ablace	Temná dráha	Dopad
Prach	ano	ne	ne	ne
Meteor	ano	ano	ne	ne
Bolid a pád meteoritu	ano	ano	ano	ano
Asteroid → kráter	ano	ano	ne	ano

Meziplanetární prachové částice



Meteority – kosmický materiál zdarma



Neu-
schwan-
stein



Morávka



Sikhote
Alin



ERFM

Maribo

Největší meteorit na světě



Hoba, Namibie

železný

nalezen 1920

2,7×2,7×0,9 m

66 tun

stáří 80 tis. let

Typy meteoritů

- Kamenné (94% všech pádů)
 - chondrity (86%)
 - obyčejné (80%)
 - H (33%)
 - L (38%)
 - LL (9%) ←
 - uhlíkaté (4%)
 - enstatické (2%)
 - achondrity (8%)
- Železné (5%)
- Železokamenné (1%)



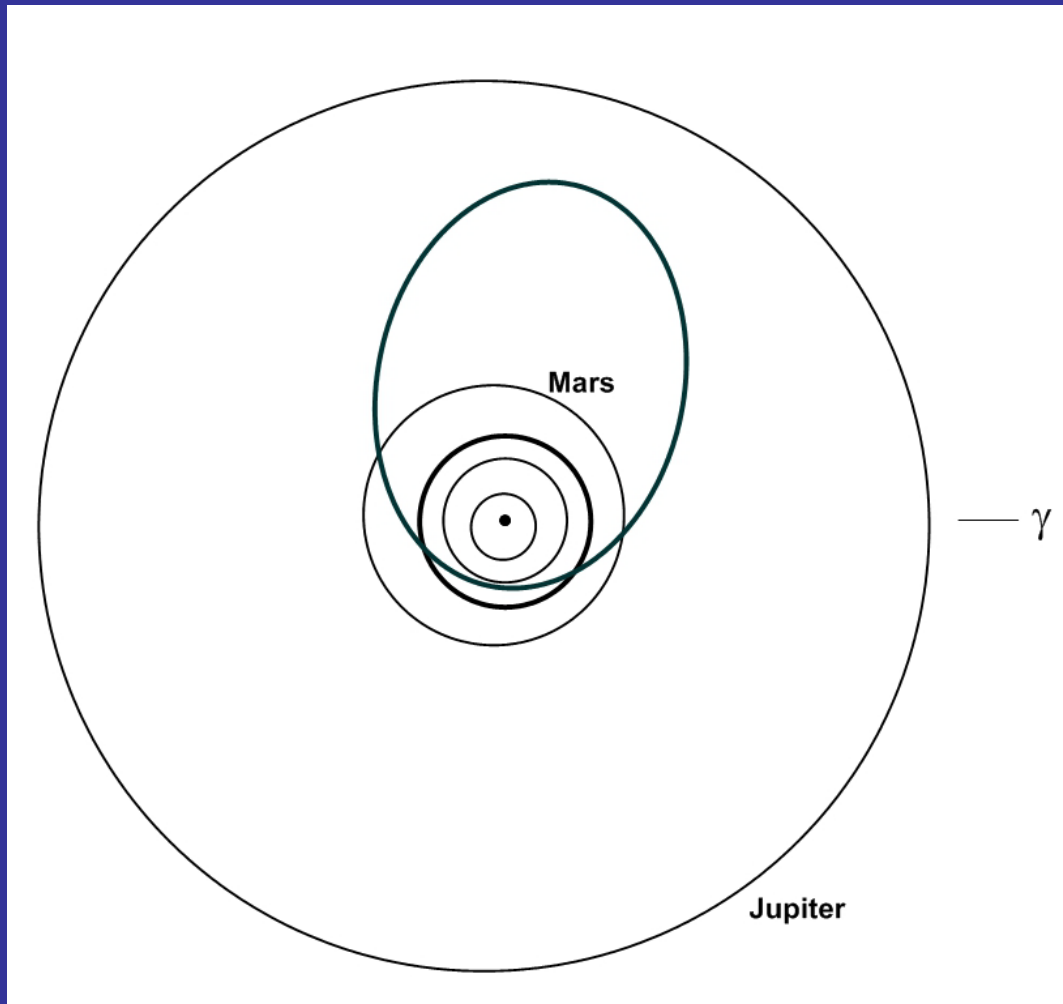
Chelyabinsk

Příbram – první meteorit se známou dráhou



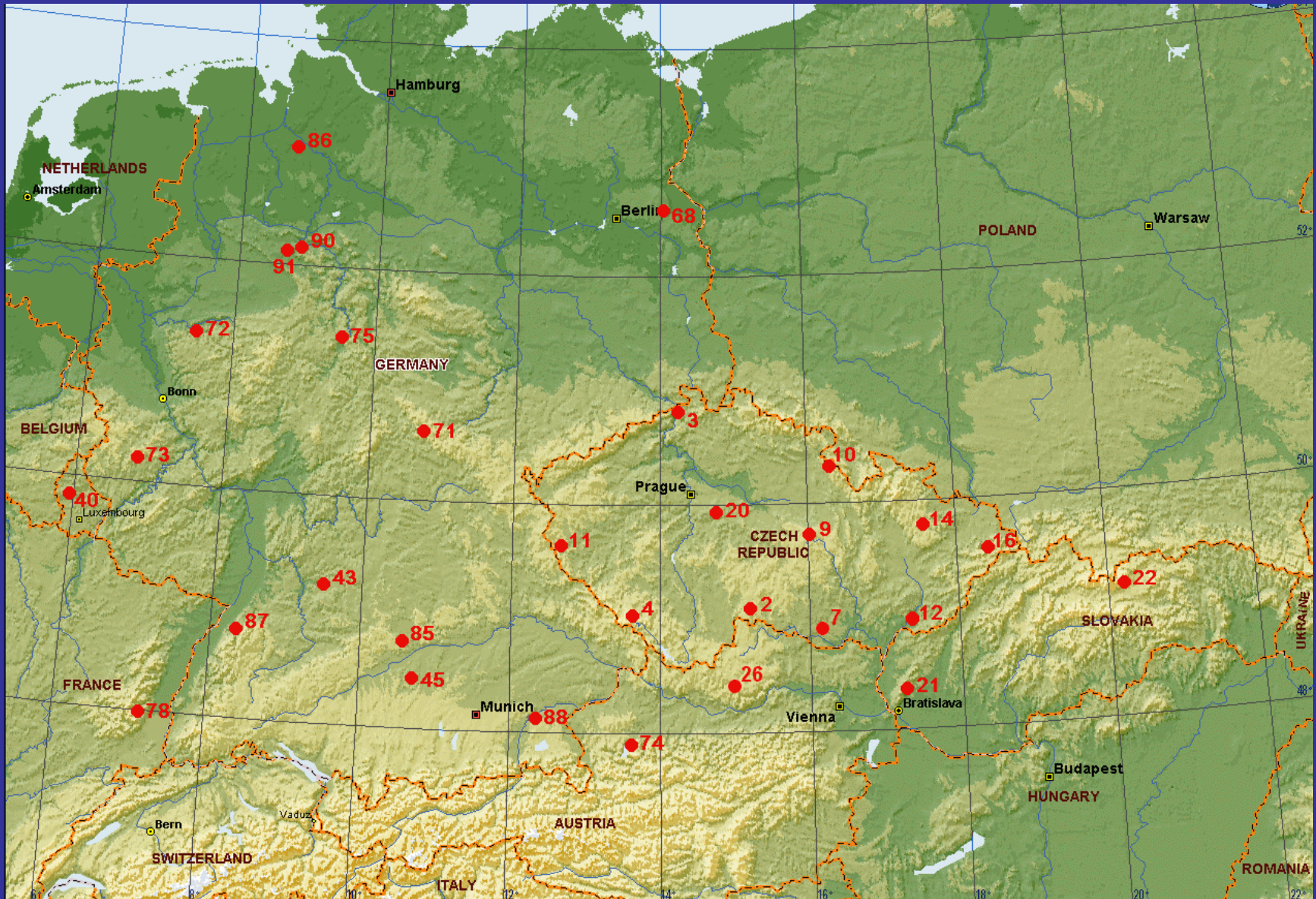
7. 4. 1959

Dráha meteoritu Příbram ve sluneční soustavě



První důkaz, že meteority pocházejí z pásu planetek

Evropská bolidová síť (1963–)

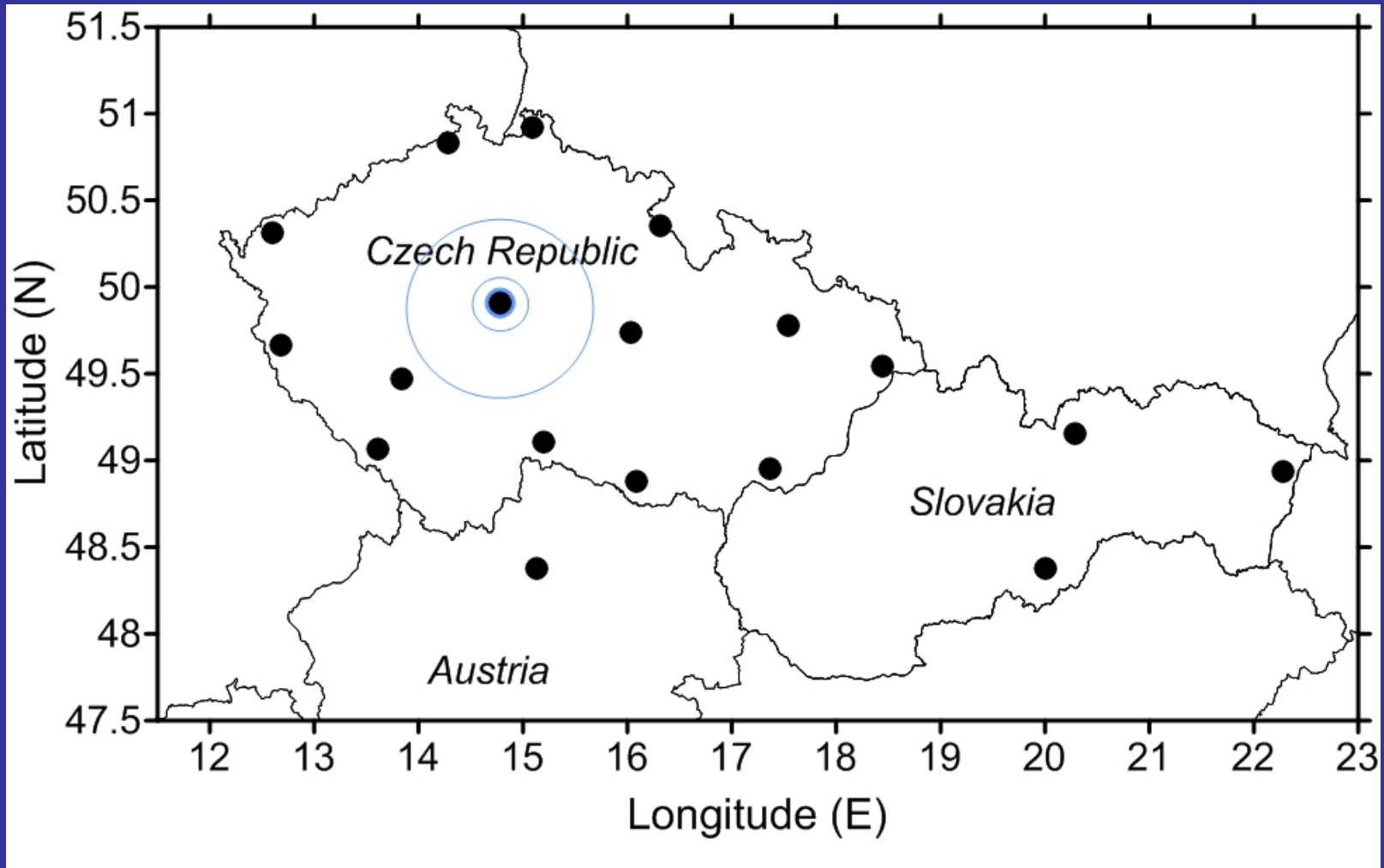


stav v roce 2000

Digitální automatická bolidová kamera (od r. 2014)



Současné rozmístění digitálních kamer





bolid z 22. 6. 2018, stanice Kocelovice

Pád meteoritů Žďár nad Sázavou



9.12.2014

Z vícestaničních pozorování určíme

- Dráhu, rychlost a průběh rychlosti v atmosféře
- Světelnou křivku
- Spektrum
- Odvozené údaje:
 - Dráha ve sluneční soustavě
 - Počáteční hmotnost
 - Typ meteoroidu (klasifikace dle výšky nebo ablačního koeficientu)
 - Mechanické vlastnosti (pevnost, strukturu, hustotu)
 - Chemické složení
 - Oblast dopadu meteoritů

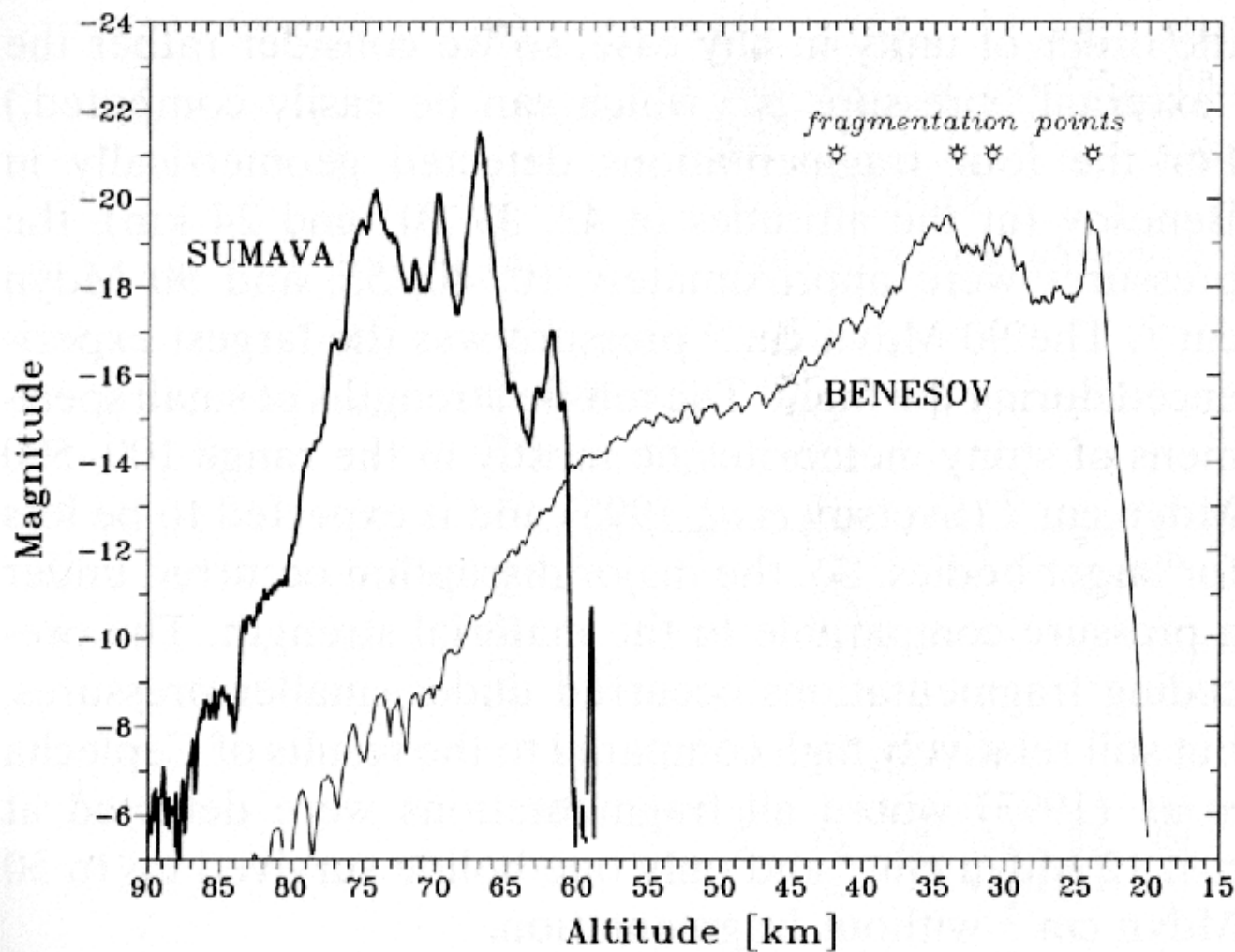
Klasifikace meteoroidů

- Existují velké rozdíly v hloubce průniku meteoroidů do atmosféry (při stejné rychlosti a hmotnosti)
- Klasifikace meteoroidů podle koncových výšek – P_E kritérium
- Různým typům odpovídají různé hodnoty *zdánlivého* ablačního koeficientu

Typy meteoroidů

Typ	ablační k. [s ² /km ²]	materiál	hustota [g/cm ³]	meteority
I	0,015	kamenný	3,5	chondrity, achondrity
II	0,04	uhlíkatý	2,0	uhlíkaté chondrity
IIIA	0,10	kometární	0,8	-
IIIB	0,25	křehký kometární	0,3	-

Průnik kamenného a kometárního tělesa



Pád meteoritu Peekskill

Location:
Johnstown, PA
©John Derr,
120 Wissinger Rd.,
Windber, PA
USA
15963
ph: 814-266-8088



9. 10. 1992

Denní bolid Morávka 6. května 2000



videozáznam Jiřího Fabiga
z Jindřichova ve Slezsku



videozáznam Josefa Mišáka
z Uherského Hradiště

Dráha bolidu v průmětu na zem



Meteority

Morávka 5



Morávka 4



Morávka 6



Morávka 1



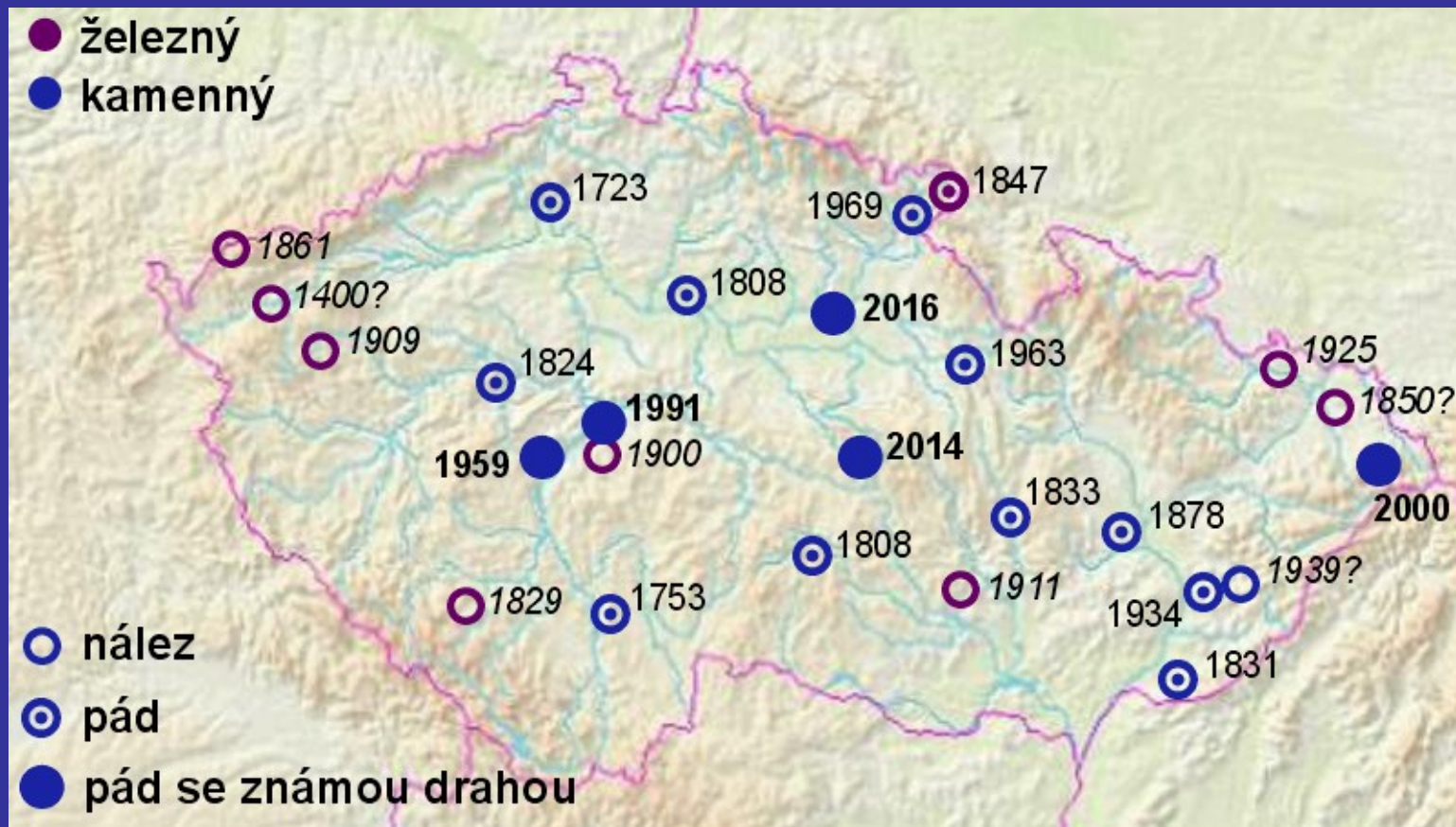
Morávka 2



Morávka 3



Meteority nalezené v českých zemích



celkem 25, z toho 16 pozorovaných pádů, z toho 5 s přístrojově určenou drahou

Meteority ve světě

- Celkem klasifikováno téměř 70 000 meteoritů
- Z toho jen 1300 pozorovaných pádů
- Z toho jen 30 meteoritů má spolehlivě určenou dráhu
- V polovině případů jsme se na určení dráhy podíleli

Košice



28. 2. 2010

Snímky z bezpečnostní kamery v Telki u Budapešti (200 km daleko)



Almahata Sitta (asteroid 2008 TC₃)



první předpovězený pád meteoritu, Súdán, 7. 10. 2008

Meteorický kráter Carancas



Carancas, Peru

15.9.2007

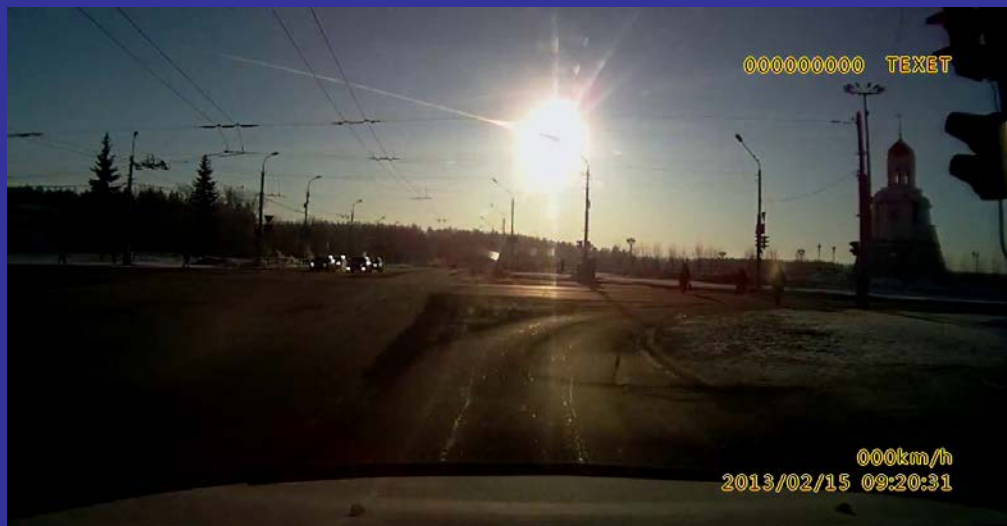
Ø 14 m

hloubka 3 m

obyčejný
chondrit

Ráno 15. února 2013

- V 9:20 místního času, v době východu Slunce, proletěl nad Čeljabinskou oblastí velmi jasný bolid
- Zaznamenán stovkami videokamer



podívejte se na videa ...

Prachová stopa ze země ...



Meteority vyhrabané ze sněhu



- V oblasti jižně od Čeljabinsku
- Tisíce převážně malých meteoritů
- Jeden velký (1,8 kg)

- Celkem > 100 kg
- Na jaře nalezeny další meteority, včetně 4 kg kusu



podívejte se na videoreportáž ...

Díra v ledu na jezeře Čebarkul



- 70 km západně od Čeljabinsku
- Průměr 8 m
- Dopad pozorován místním rybářem a z dálky zachycen kamerou

- Maličké úlomky meteoritu nalezeny v okolním ledu
- Velký kus (654 kg) vyloven z jezera 16. října



Vytažení z jezera



podívejte se na video ...

Meteorit v muzeu



Čeljabinské oblastní muzeum

Meteorit



po 8 měsících v bahně



foto David Částek

Energie a velikost

- Energie určená z infrazvukových, seismických a družicových dat:

500 (± 100) kt TNT

- Počáteční hmotnost planetky určená ze známé energie a rychlosti:

12 tisíc tun

- Původní velikost, předpokládáme-li stejnou hustotu, jako mají meteority (3300 kg/m^3):

19 metrů (17 – 20 m)

Atmosférické výbuchy

Bolid	Energie kt TNT*
Tunguzka (1908)	10 000
Čeljabinsk (2013)	500
Indonésie (2009)	50
Maršallový ostrovy (1994)	20
Sichote Alin (1947)	10
2008 TC ₃ (Súdán)	1
Morávka (2000)	0,1

Největší jaderný výbuch (SSSR 1961)	50 000
Sopečný výbuch Hory Sv. Heleny (USA 1980)	20 000
Největší jaderný výbuch USA (1954)	15 000
Hirošimská bomba (1945)	15
Největší konvenční výbuch (USA 1985)	4

*1 kt TNT = $4,185 \times 10^{12}$ J

Tunguzka (30. 6. 1908)



Kulikova expedice, 1928

Oblast zničená tlakovou vlnou
60 x 40 km



porovnání s Římem

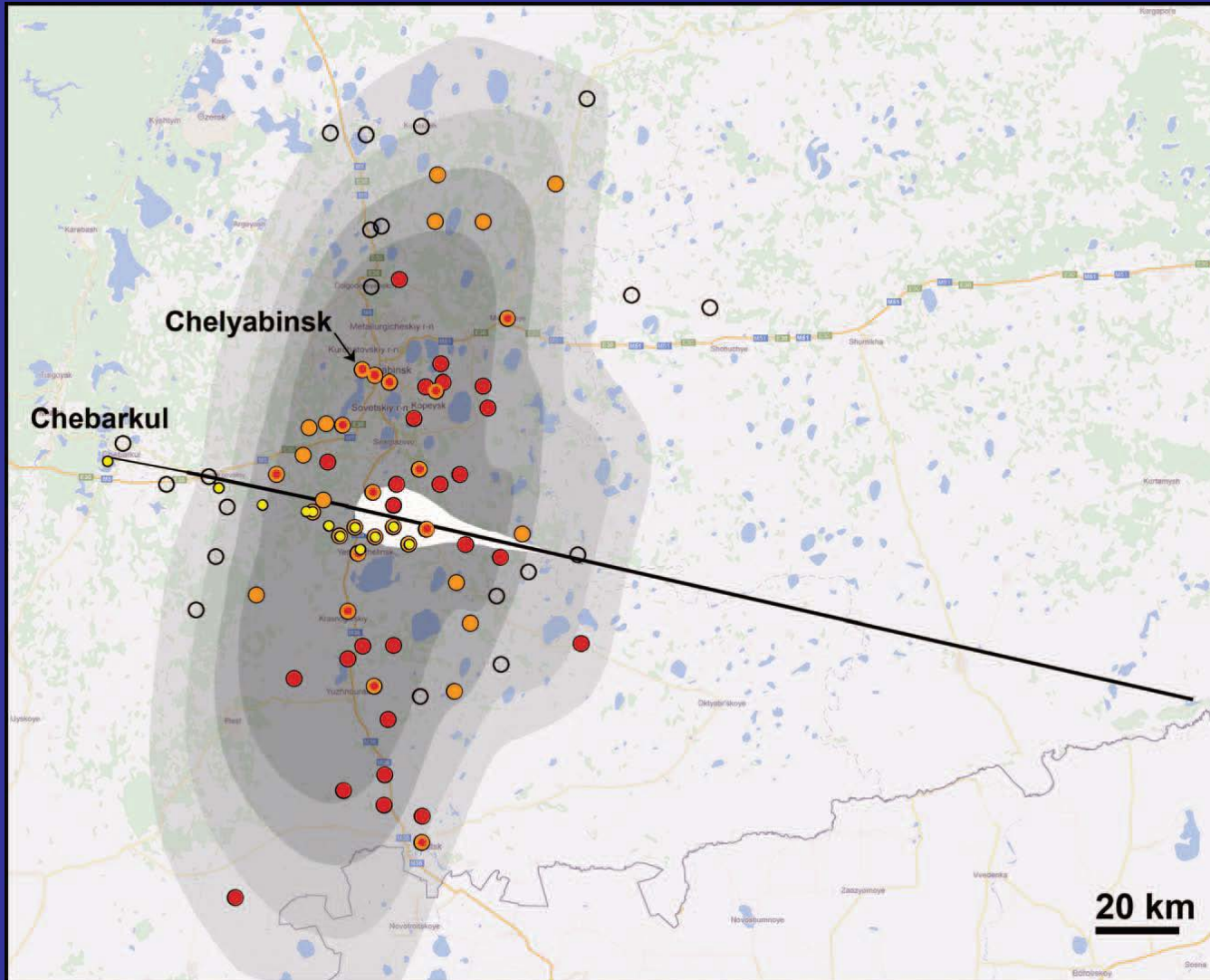
Sichote Alin (12. 2. 1947)



~23 tun železných meteoritů
největší kus 1700 kg
největší kráter Ø 27 m



Mapa rozbitých oken a modelu přetlaku



Okna rozbita
u 7230
budov

Škody v Čeljabinsku

- Z 5000 prozkoumaných oken asi 10% prasklo
- Bylo poznamenáno 40% budov
- Rychlost tříštěného skla 7 – 9 m/s
- Přetlak ve vlně byl několik procent atmosférického tlaku
- Jedna střecha budovy se zřítila



Zranění

- 1 613 lidí požádalo o ošetření v nemocnicích, 112 lidí bylo hospitalizováno, 2 ve vážném stavu; nikdo nezemřel
- Zranění byla většinou od rozbitého skla
- Další hlášené újmy: horko, popáleniny, bolesti očí, přechodné ohluchnutí, stres
- Žádné větší škody ani zranění nebyly od padajících meteoritů

Shrnutí

- Čeljabinská událost byla první katastrofa způsobená kosmickým tělesem
- Planetky o rozměrech ~20 metrů jsou nebezpečné
- Poměrně křehké těleso, rozpadalo se ve výškách nad 30 km; jen malá část původní hmoty dopadla jako meteority
- Škody pouze od tlakové vlny. Pokud by těleso proniklo níže, vlna by byla silnější
- Největší potenciální hrozba – záměna s vojenským útokem
- Planetek této velikosti může být více než se myslelo – srážka se Zemí několikrát za století

Jak se bránit malým planetkám?

- Objevit je několik dní až týdnů před dopadem
- Vypočítat místo dopadu. Pokud jde o obydlenou oblast, varovat, příp. evakuovat obyvatelstvo
- Projekt ATLAS a budoucí LSST – proskenování celé viditelné oblohy během několika dní
- Nicméně ze země je dostupných jen 60% oblohy. Pro úplné pokrytí je třeba pozorování z družic