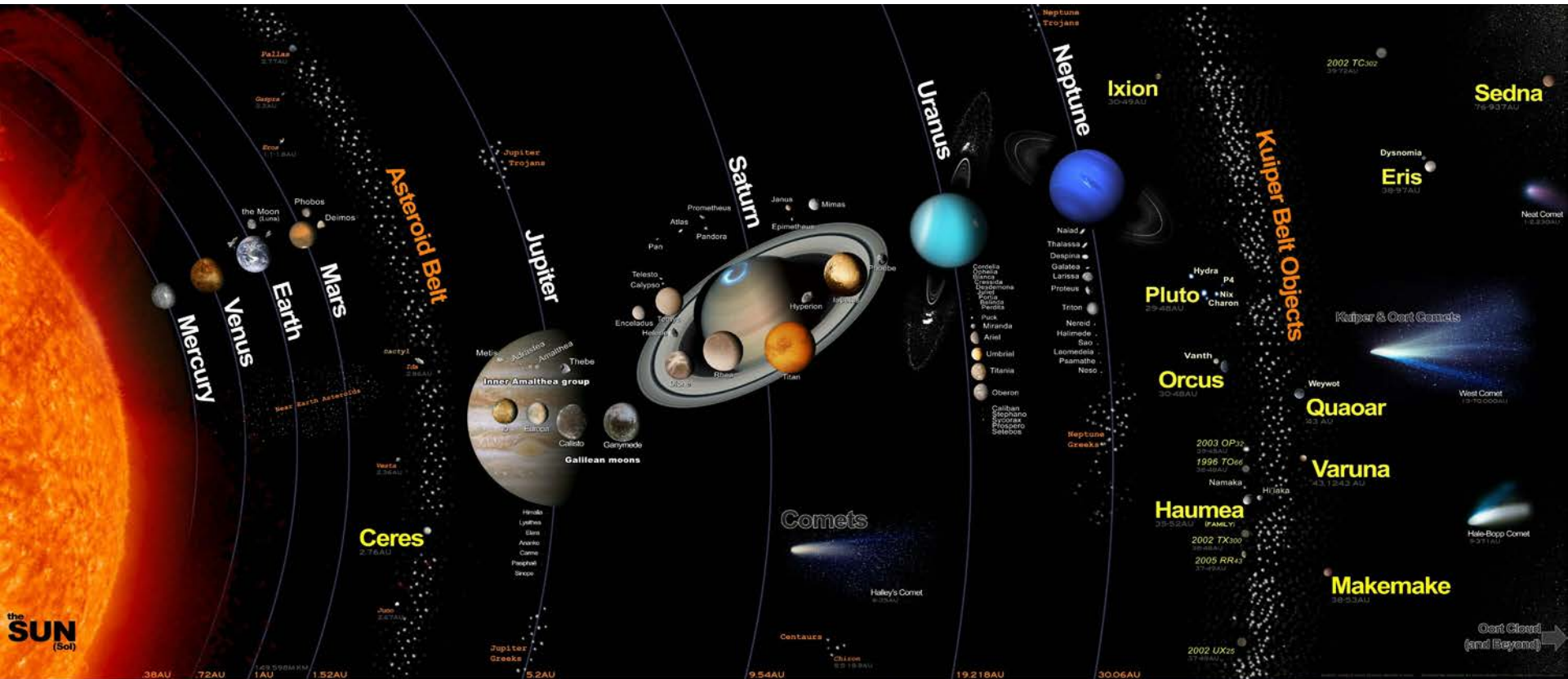


# Sluneční soustava





**THE SUN**

1.3 MILLION EARTHS CAN FIT INSIDE THE SUN.

**JUPITER**

**SATURN**

**URANUS**

**NEPTUNE**

**THE EARTH**

**VENUS**

**MARS**

**MERCURY**

**PLUTO\***

\* Dwarf Planet

**THE SUN** CONTAINS MORE THAN **99.8%** OF THE TOTAL MASS OF THE SOLAR SYSTEM.

**386 BILLION BILLION** MEGAWATTS OF POWER

AT THE CENTRE OF THE **150** CORE THE SUN'S DENSITY IS MORE THAN **150** TIMES THAT OF WATER

HYDROGEN

HELIUM

METALS



**1** MERCURY < MARS < VENUS < EARTH...

**2** EARTH < NEPTUNE < URANUS < SATURN < JUPITER...

**3** JUPITER < WOLF 359 < SUN < SIRIUS...

**4** SIRIUS < POLLUX < ARCTURUS < ALDEBARAN...

**5** ALDEBARAN < RIGEL < ANTARES < BETEL GEUSE...

**6** BETEL GEUSE < MU CEPHEI < VV CEPHEI A < VV CANIS MAJORIS

**WE ARE NOT THE BIGGEST...**

# Sluneční soustava

## Organizace:

- centrální těleso – **Slunce** - 99,87 % hmoty Sluneční soustavy
  - 2 % celkového momentu hybnosti
- Sluneční soustava – plochý útvar – kolem roviny ekliptiky
- dráhy všech planet jsou takřka kruhové (téměř v jedné rovině)
- rotace většiny planet souhlasná se směrem pohybu kolem Slunce (i se směrem rotace Slunce)
- několik desítek planetek obíhá Slunce retrográdně (inklinace  $> 90^\circ$ )

## Tělesa Sluneční soustavy:

*do srpna 2006:*

Slunce

planety,

malá tělesa Sluneční soustavy (planetky, komety, měsíce planet),

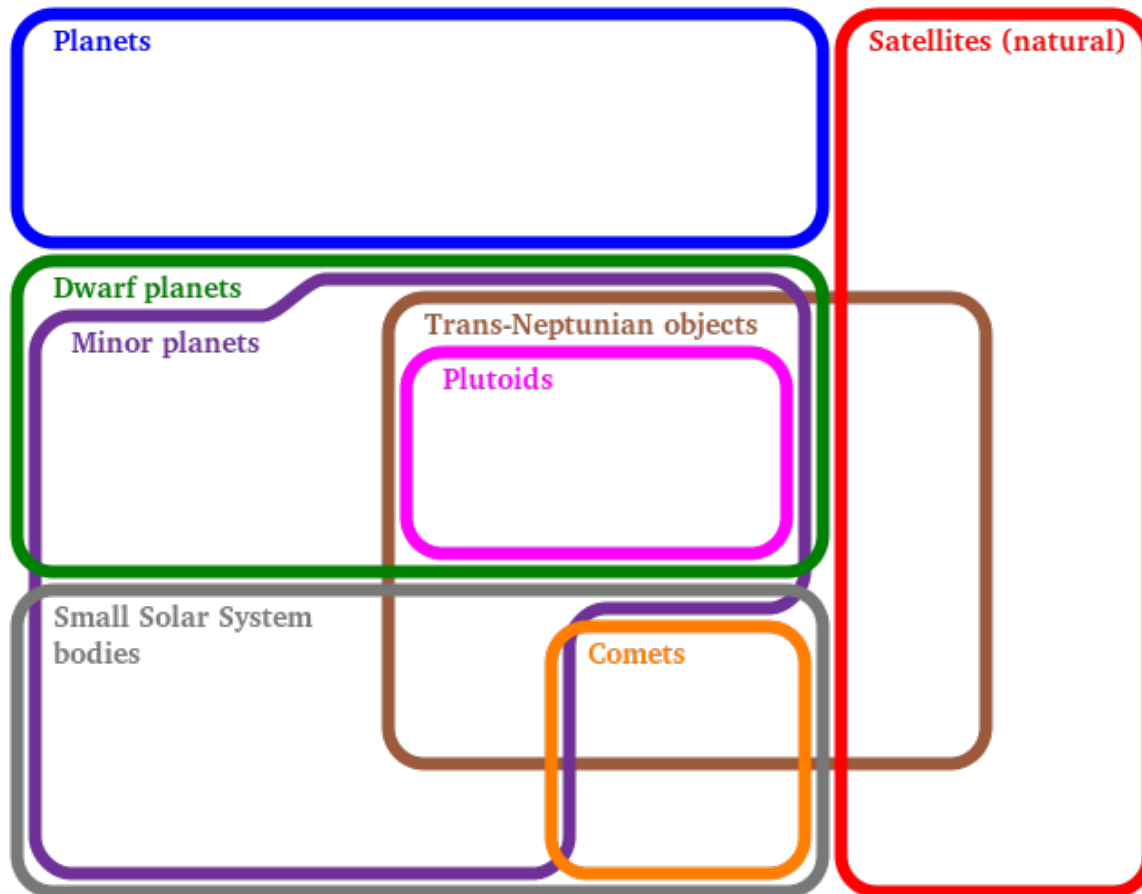
*dnes:*

Slunce,

planety,

malá tělesa Sluneční soustavy (trpasličí planety, plutoidy,  
transneptunická tělesa, komety, ...)

- **Planeta** (IAU) = obíhá kolem Slunce
  - = má dostatečnou hmotnost, aby byla přibližně *kulového* tvaru
  - = vyčistila okolí své oběžné dráhy od menších těles
- **Trpasličí planeta** - na rozdíl od planety *nevyčistila* okolí své oběžné dráhy



5 oficiálně uznaných:

1. Ceres
2. Pluto
3. Eris
4. Makemake
5. Haumea

+ stovky dalších kandidátů  
 např. Vesta a velká TNO,  
 např. Orcus, Quaoar,  
 Sedna, Salacia, Ixion,  
 Huya, Varuna, Gonggong  
 (2007 OR<sub>10</sub>), 2002 MS<sub>4</sub>



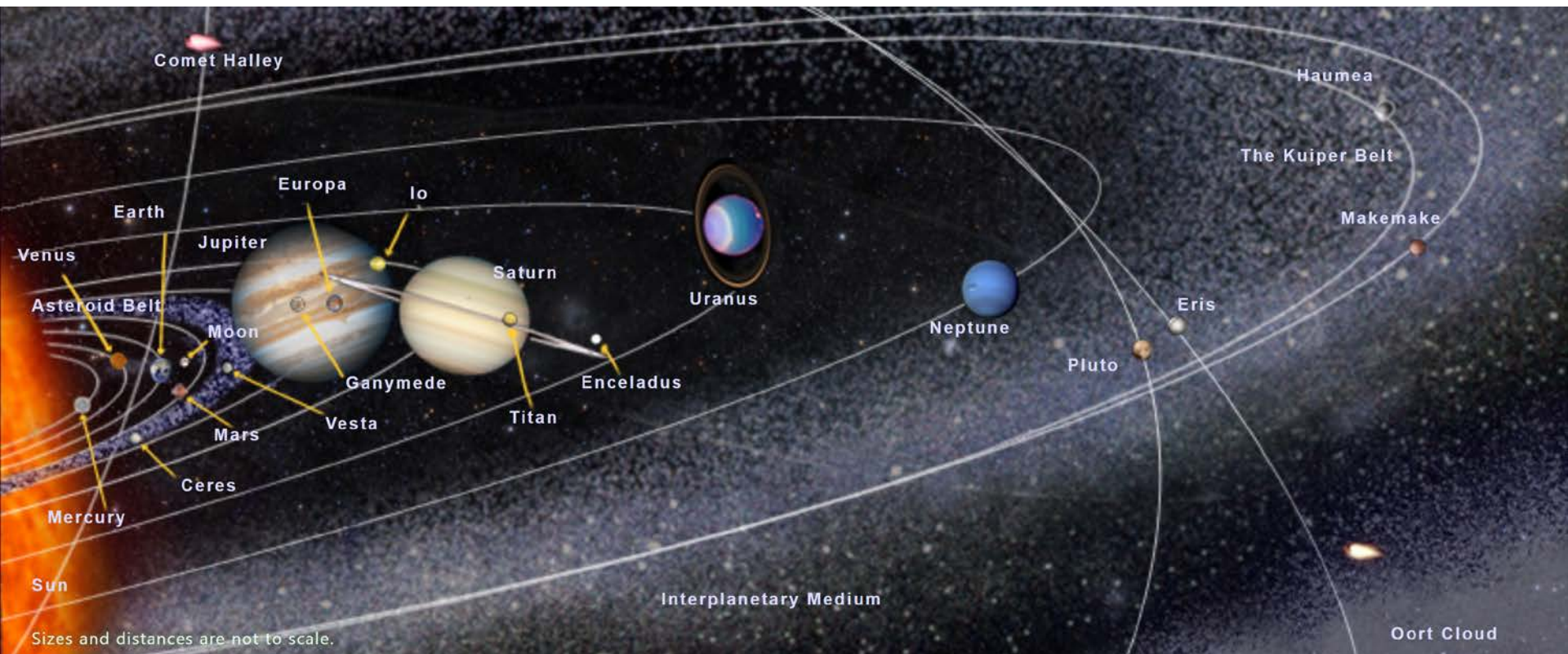
# SSS (Statistika Sluneční soustavy) – stav k 6. 12. 2020

- hvězda: 1
- planety: 8
- trpasličí planety: 5 (5 pojmenovaných)
- asteroidy: 1,024,991
- objekty vnější části Sl. Soust. (TNO): 3,814
- komety: 6,996
- mezihvězdné objekty: 2

měsíce

- planet: 208
- trpasličích planet: 9
- asteroidů: 316
- TNO: 111

(převzato z <http://johnstonsarchive.net/astro/sslistnew.html>)



## Malá tělesa Sluneční soustavy

velmi početná skupina těles – planetky, jádra komet (celková hmotnost velmi malá)

ale důležité! - proč?

protože si přinášejí mnoho informací z doby formování Sluneční soustavy

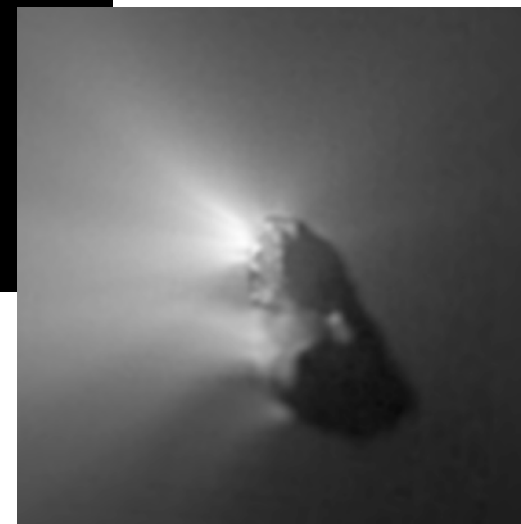


Himeros  
12S-45N  
260-298W



Eros

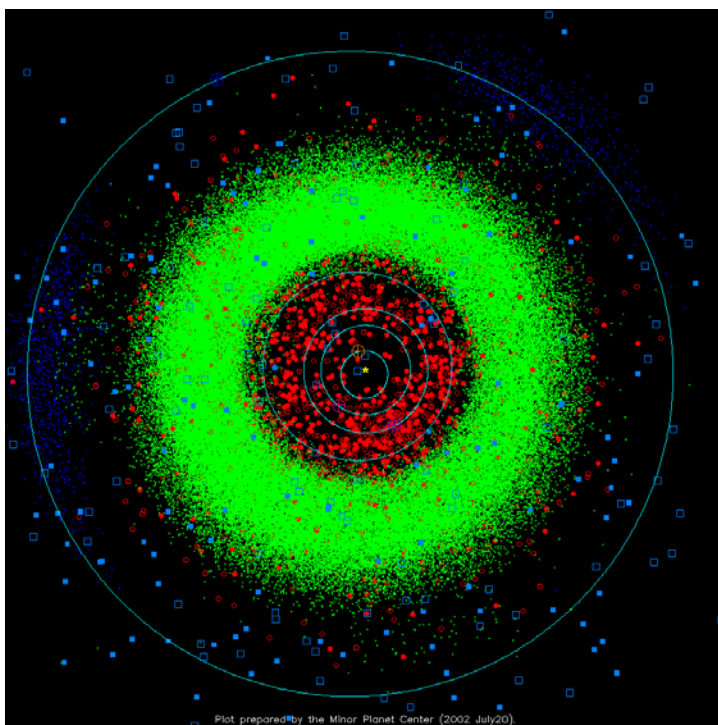
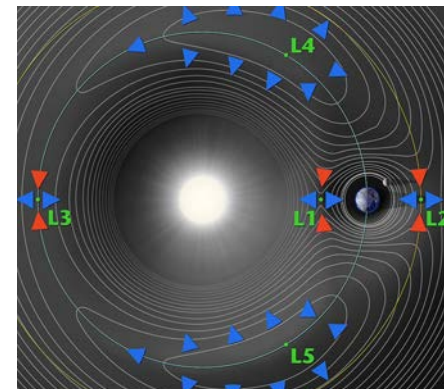
Ida a Daktyl



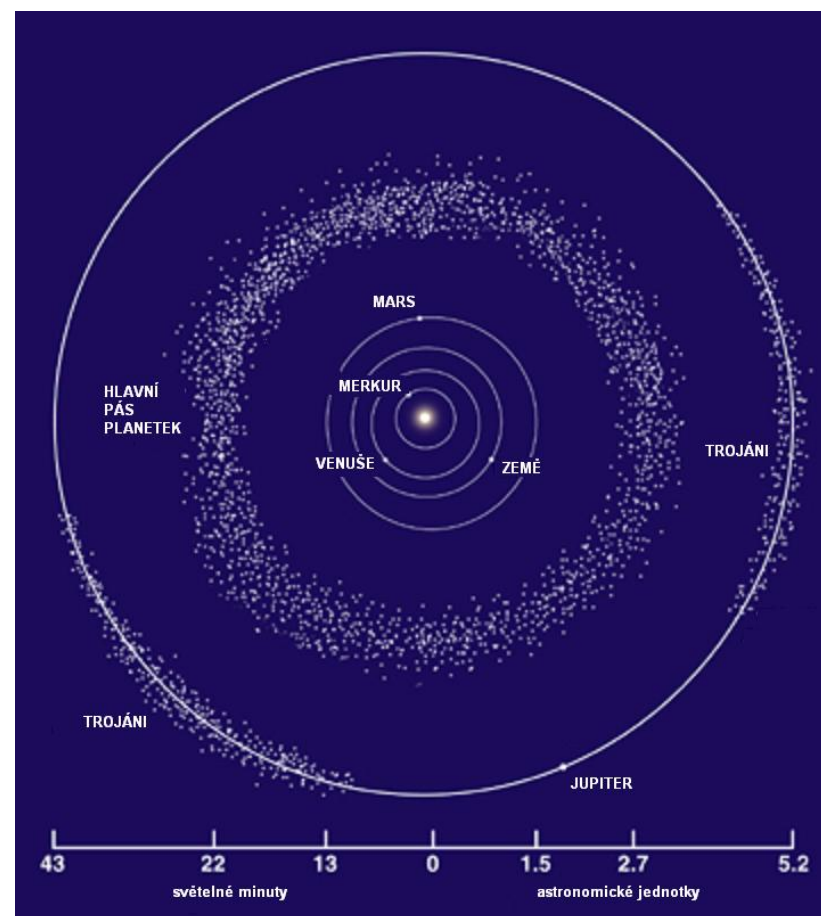
jádro  
Halleyovy  
komety

# Hlavní pás planetek

- Mezi Marsem a Jupiterem
- ½ hmotnosti jsou 4 objekty: Ceres, Vesta, Pallas, Hygiea
- cca 1 mil. objektů s prům. > 100 m (6.12.2020: 1 036 818)
- Celková hmotnost cca 4 % hm. Měsíce



20. 7. 2002 zeleně: planetky, červeně: nebezpečné planetky (do 1,3 au), modré čtverečky: komety, modré body: Trojané

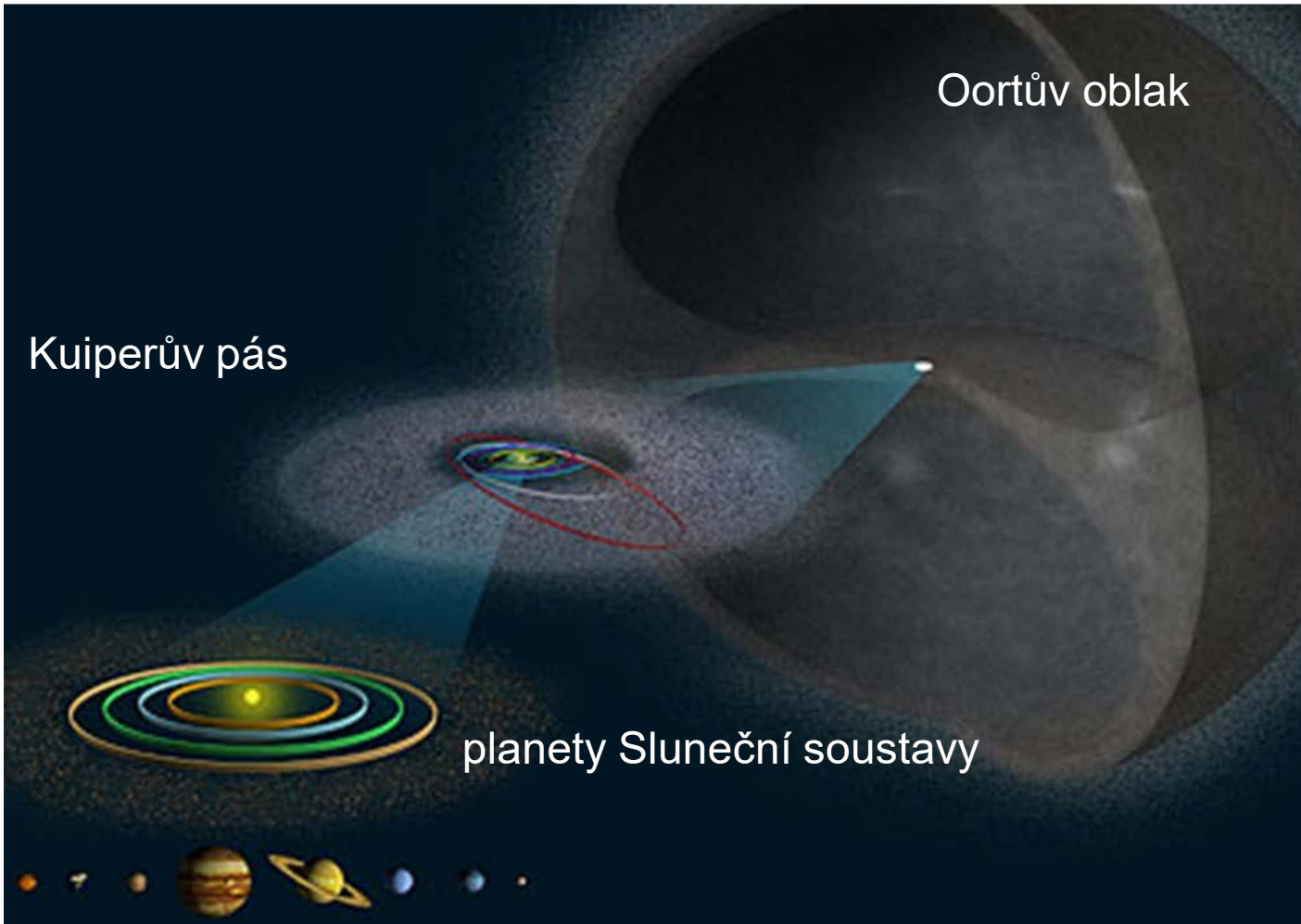




## Kuiperův pás

- TNO - za drahou Neptunu
- často v době objevu planetka, po čase uvolňují materiál z povrchu => *jádra komet*

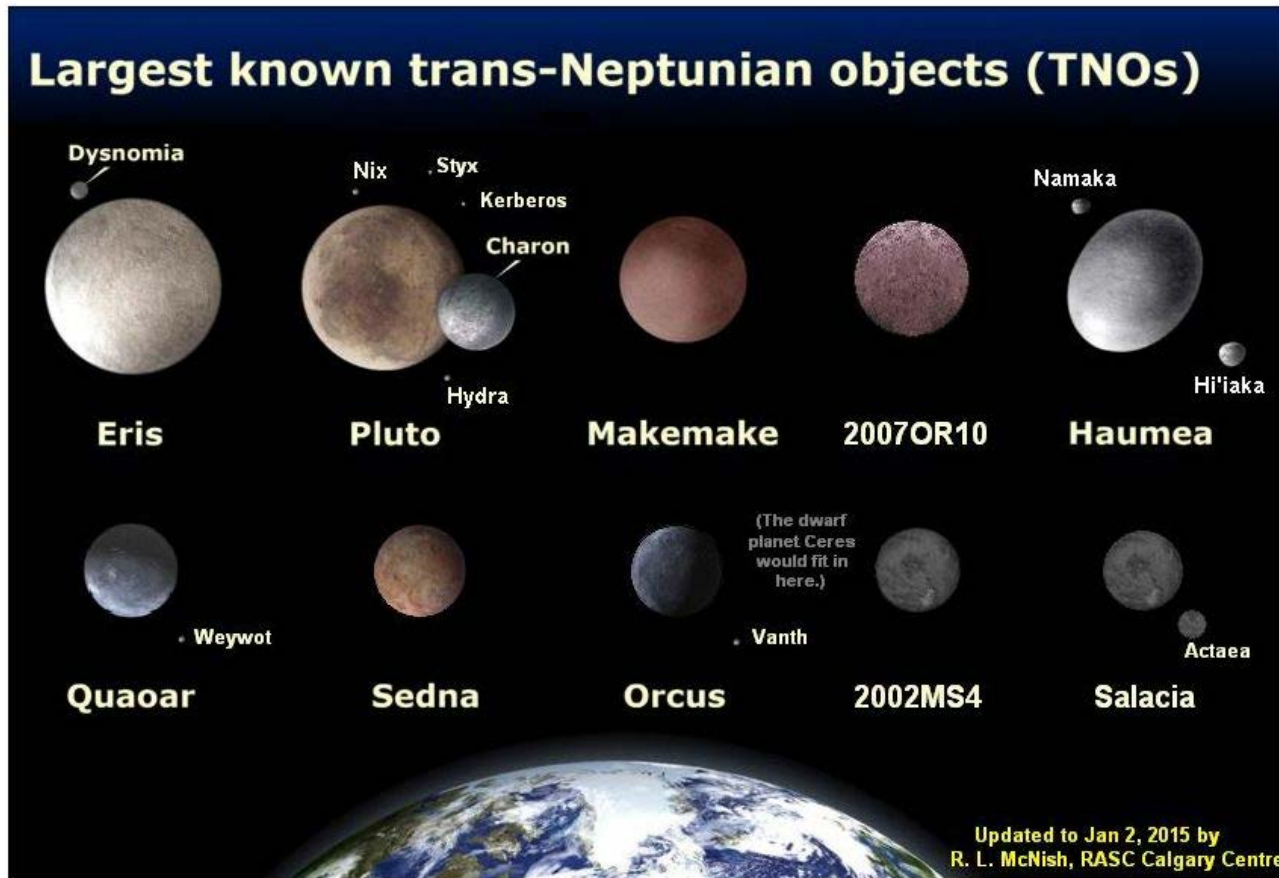
**Oortův oblak** - planetka Sedna, zdroj dlouhoperiodických komet



**Plutoid** – trpasličí planeta obíhající kolem Slunce ve větší vzdálenosti než je dráha planety Neptun (Pluto, Eris, Makemake, Haumea)

**Transneptunické těleso (TNO)** - objekt v naší Sluneční soustavě, za drahou Neptunu, vzdálenost 30 až 50 au od Slunce, průměr nad 100 km (odhadem více než 70 tisíc těles). Prozatím považováno za planetku (viz katalog planetek) včetně Pluta i s Charonem. Některé mají průvodce.

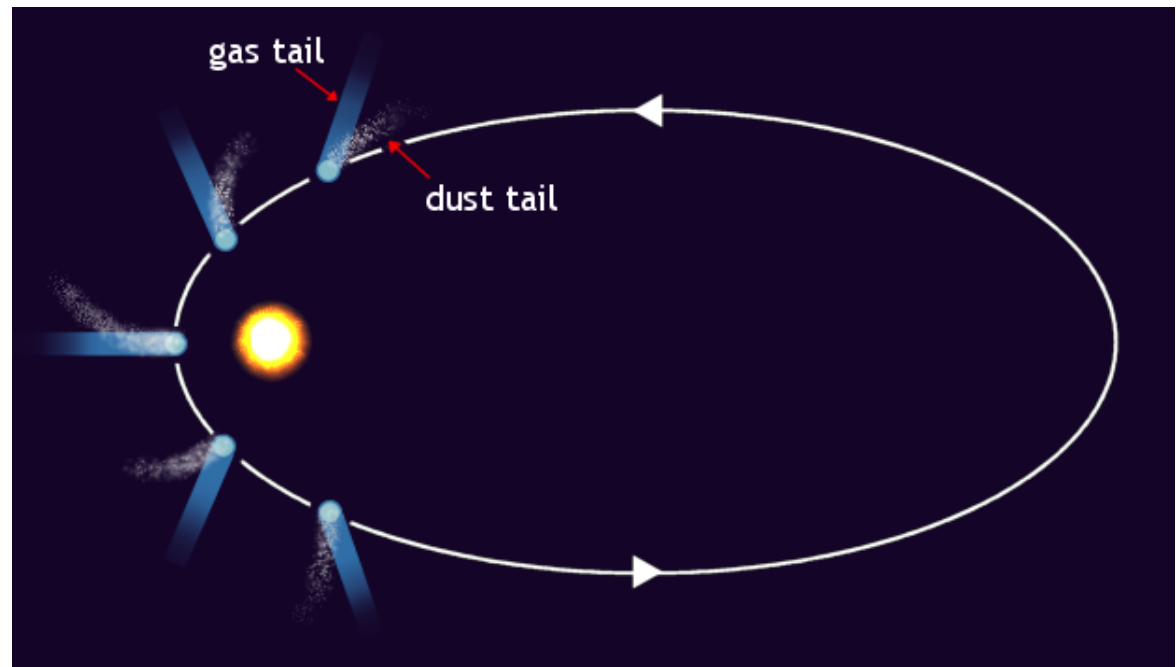
**Plutino** – TNO, rezonance oběžné doby k Neptunu v poměru 3:2; ve vzdálenosti Pluta na vnitřní straně Kuiperova pásu; Pluto, Charon, Ixion, Orcus, Huya





# Komety

- 6996 komet (22.11. 2020)
- Prachový ohon - tlakem slunečního větru
- Plynný iontový ohon - uvolněné elektrony díky UV záření
- Krátkoperiodické - z Kuiperova pásu,  $P < 200$  let
- Dlouhoperiodické - z Oortova oblaku (6036 komet)
- Hyperbolické - jen jeden průlet (105 komet)
- Mezihvězdné (2 – Oumuamua, Borisov)



# Neowise (C/2020 F3)

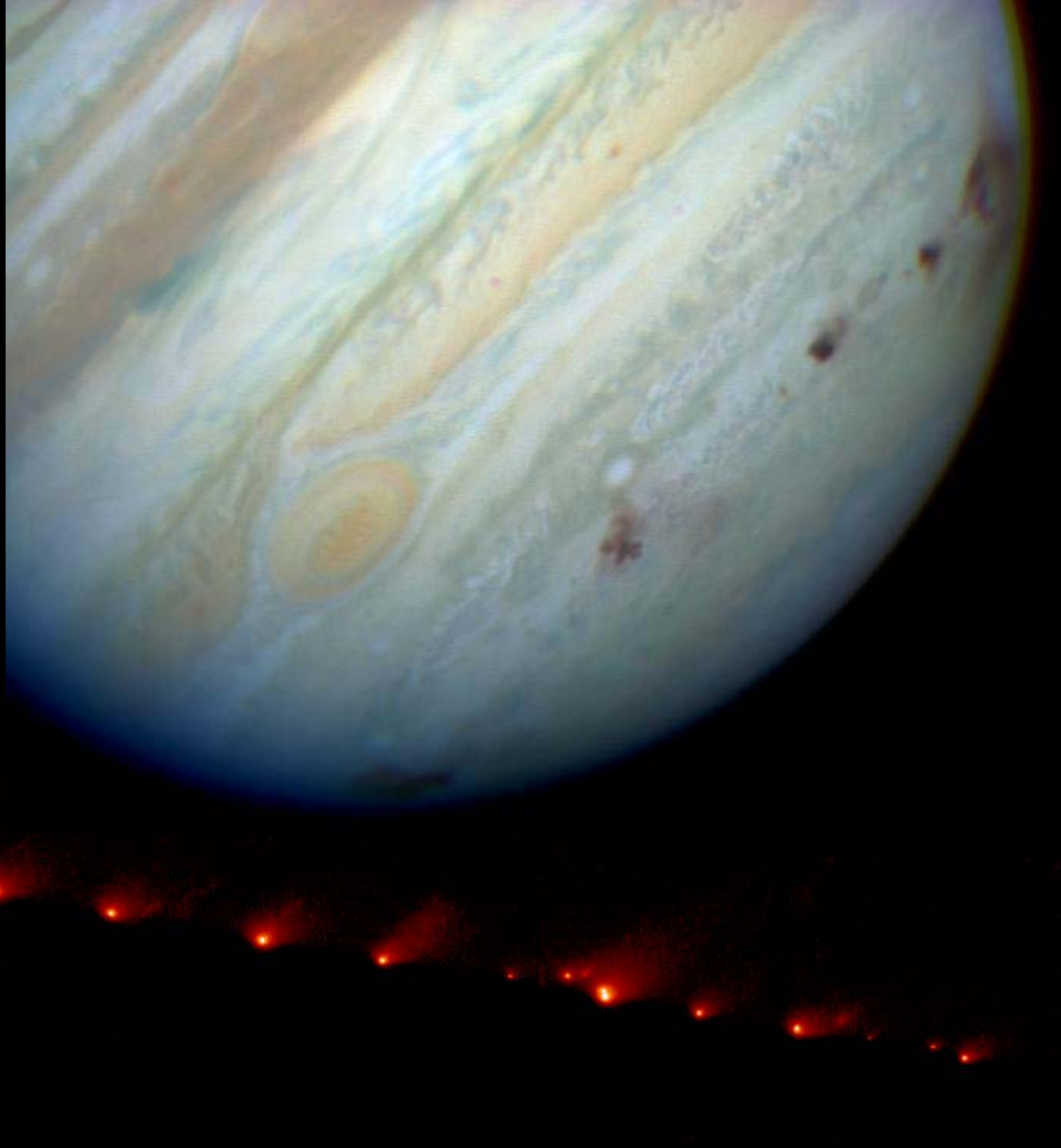


© Petr Horálek  
PHOTOGRAPHY  
*Slovinský*



## Kometa Shoemaker-Levy

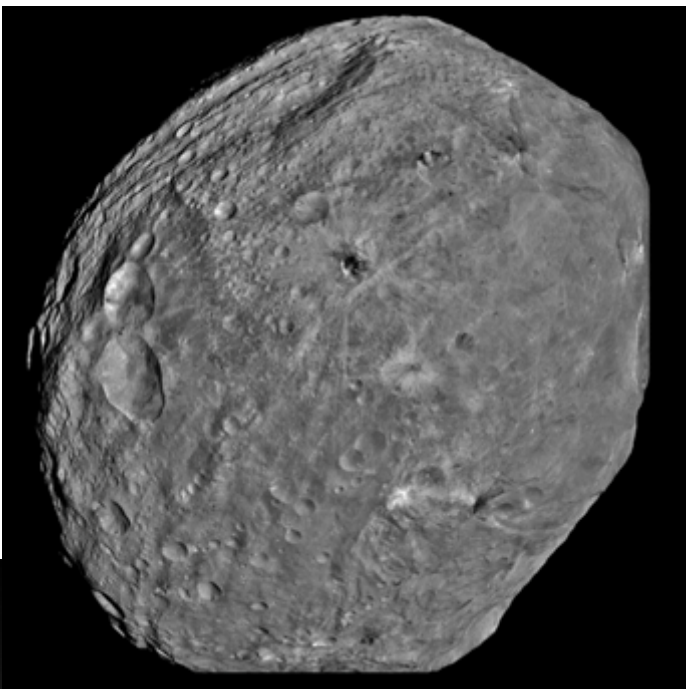
- V roce 1994 se srazila s Jupiterem
- První přímo pozorovaná srážka dvou těles
- Několik úlomků v několika dnech
- Tmavé skvrny asi rok
- 6 mil. tun TNT



**Deep Impact** – střela do jádra komety Tempel 1 (2005)



před dopadem

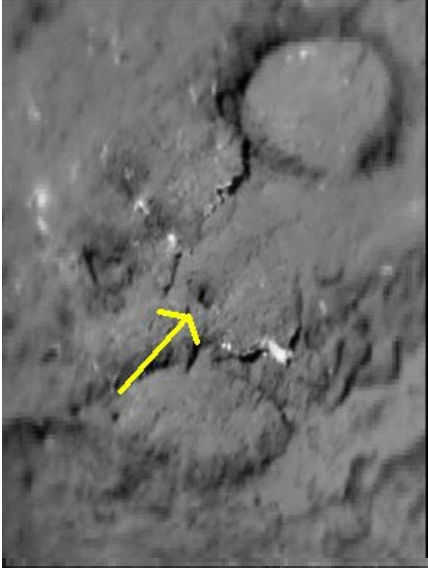


Vesta – sonda  
**Dawn** (2011)

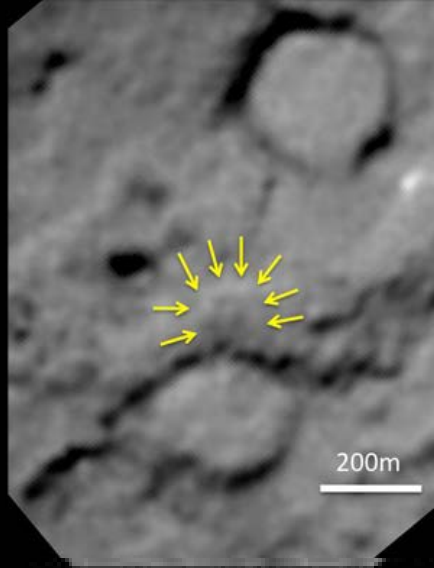


67 s po dopadu

Sonda **Stardust** – snímek komety Tempel 1  
z pouhých 180 kilometrů (15. 2. 2011)



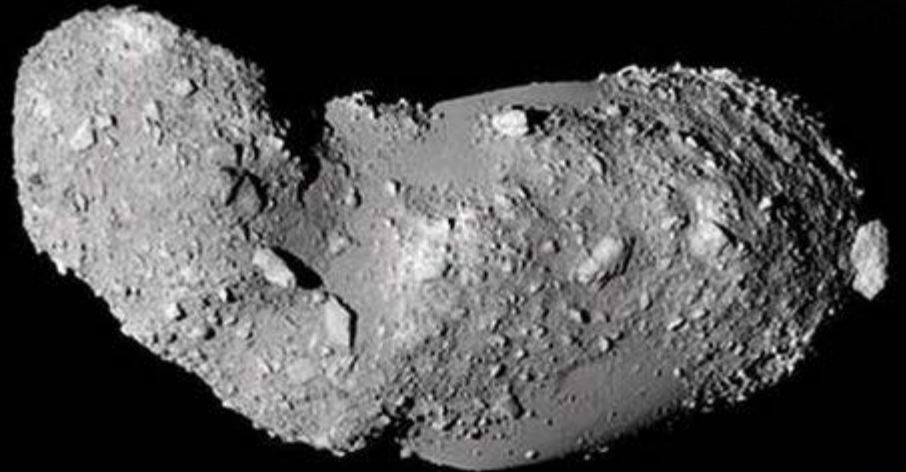
Deep Impact 2005



Stardust-NEXT 2011



**Hayabusa** – přistání na  
planetce Itokawa (2005)  
(500 m dlouhá)



Wild 2

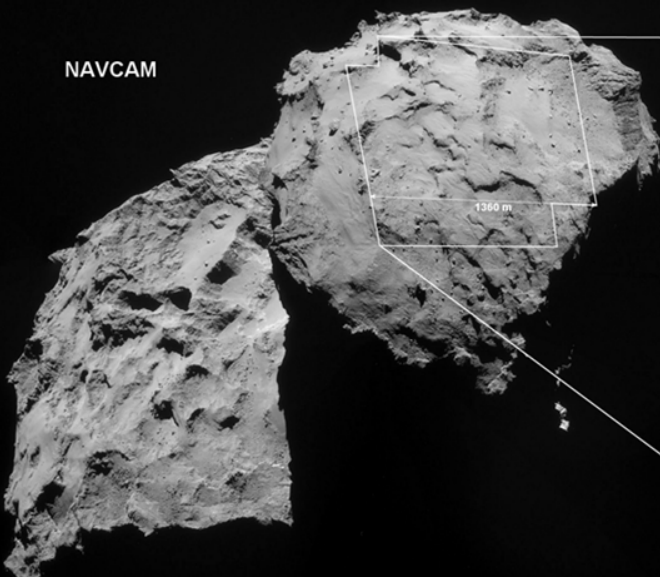


67/P Churyumov-Gerasimenko,

sonda **Rosetta** (ESA) – start 2004,  
12.11.2014 – modul Philae –  
přistání na jádře komety!

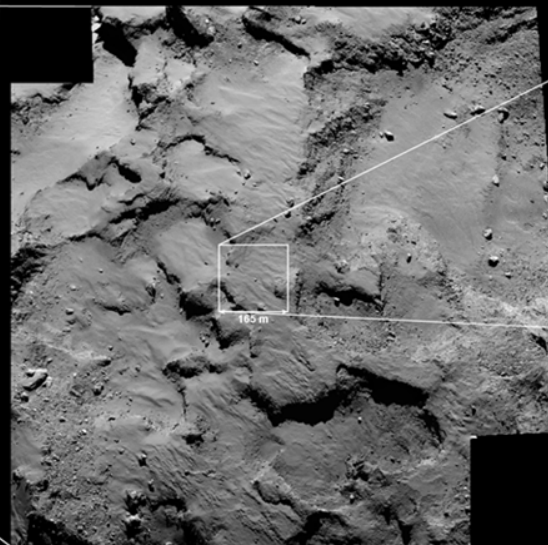


NAVCAM

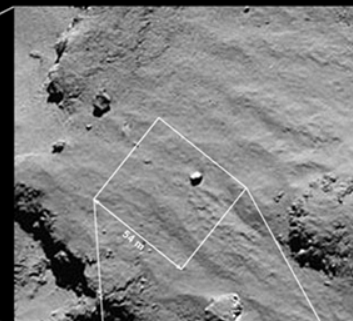


1360 m

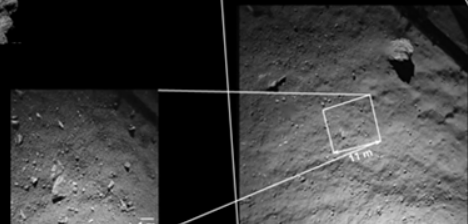
OSIRIS NAC



185 m



58 m



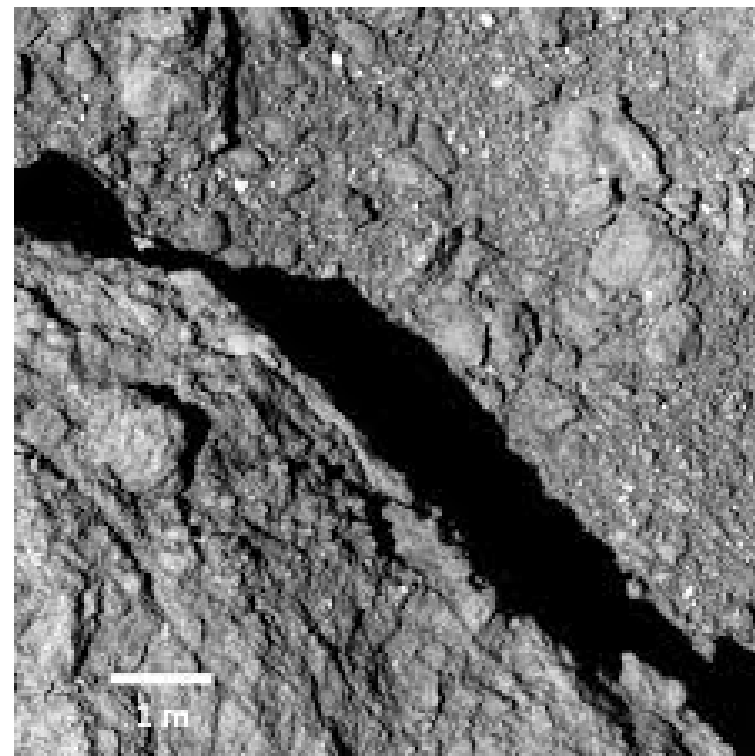
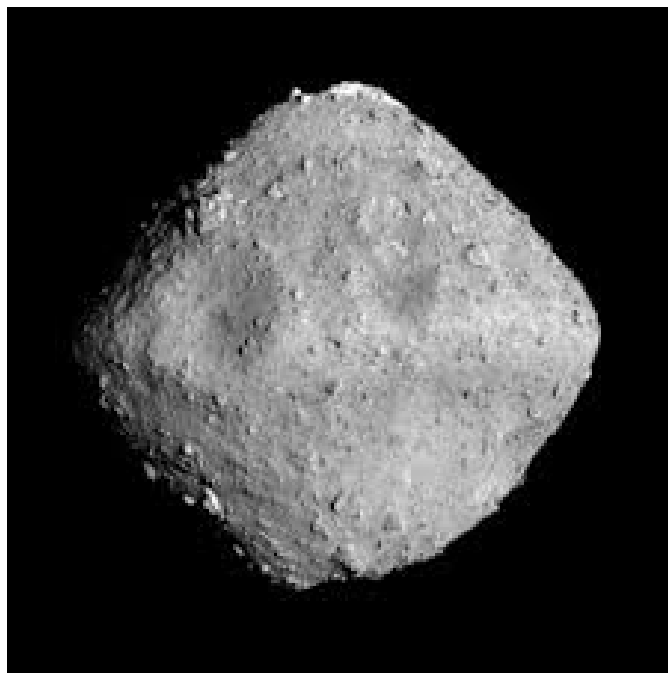
41 m

OSIRIS NAC

## Hayabusa 2

setkání s planetkou Ryugu, odběr vzorků, návrat na Zemi

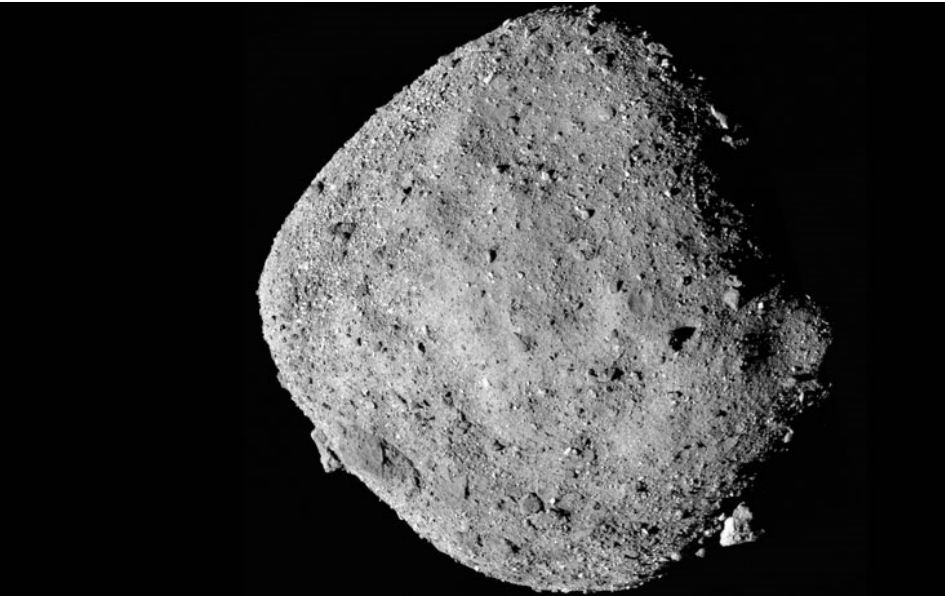
Kapsle se vzorky přistála 6.12.2020



# OSIRIS-REx

start 8. 9. 2016

31. 12. 2018 na oběžné dráze (až cca 1 km nad povrchem)



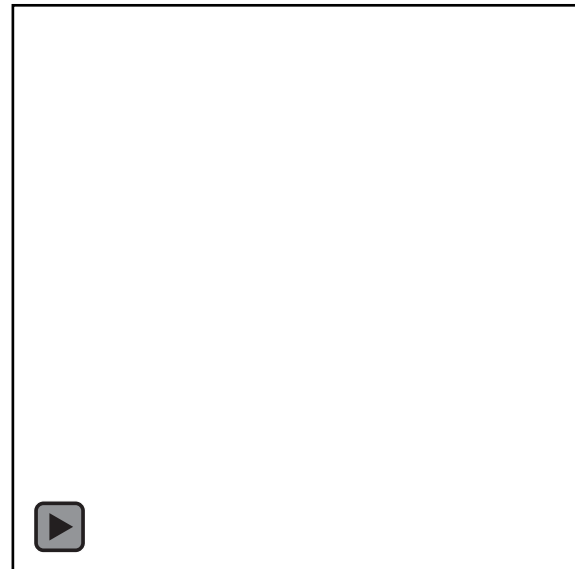
Asteroid Bennu ze sondy OSIRIS-REx  
vzdálenost 330 km (29. 10. 2018)



Plán mise:

- 505 dní mapování povrchu
- těsné přiblížení (průlet) s odběrem vzorku
- 2023 – návrat na Zemi

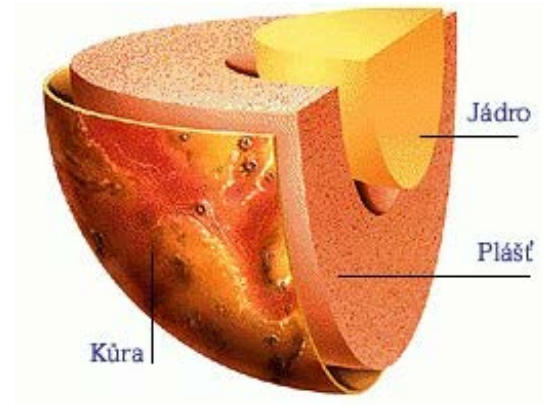
Odběr vzorků 20. 10. 2020



# Planety

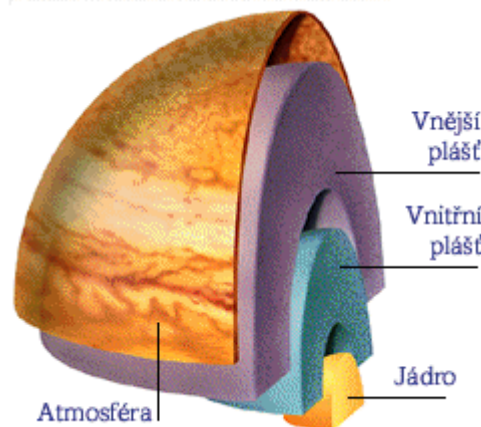
## - podobné Zemi (terestrické)

- tvořena převážně ze sloučenin a prvků železa, křemíku, hořčíku, hliníku a vápníku;
- ve vnitřní části Sluneční soustavy – Merkur, Venuše, Země, Mars, (Měsíc)



## - planetární (plynní) obři (planety typu Jupiter)

- ve vnější části Sluneční soustavy - Jupiter, Saturn, Uran a Neptun
- cca 10x větší průměr (než terestrické planety)
- převážně vodík a helium, u Uranu a Neptunu i uhlík, dusík a kyslík.





# Základní informace o planetách

## Merkur

průzkum

- Mariner 10 (1974 - 1975) – průzkum 45 % povrchu
- Messenger (2008-2015), BepiColombo (start 20.10.2018)

Povrch – podobný měsíčnímu povrchu (bez měsíčních moří)

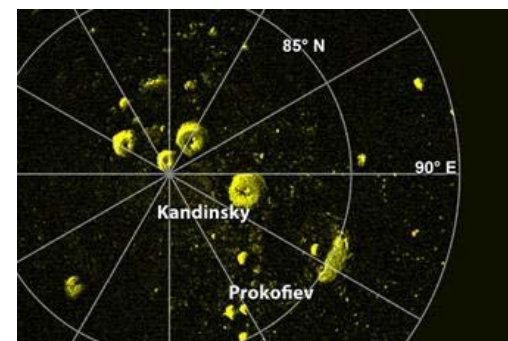
- krátery většinou impaktní
- charakteristické obloukovité zlomy (relativně strmé příkopy v délce až stovky km)
- pánev *Caloris* (Pánev horka) – kolem 6 prstencových valů (nejvýraznější o průměru 1340 km); unikátní dno – praskliny, horské hřbety (vybíhající ze středu nebo v soustředných prstencích)
- vodní led v oblasti pólů (2012)

Nitro - slabé mg. pole (cca 1 % zemského) => přítomnost rozsáhlého jádra z kovů

Doba rotace =  $\frac{2}{3}$  doby oběhu kolem Slunce (=> za dva oběhy kolem Slunce se planeta vůči němu třikrát otočí), osa rotace takřka kolmá k rovině oběhu

Dráha Merkuru – výstředná, 46 - 70 mil. km, výrazné změny teplot -173 °C až +427 °C

Stáčení perihelia - potvrzení obecné teorie relativity





# Merkur

průměr: 4879 km

hustota:  $5,42 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$



1. kůra: 100-300 km silná
2. plášť: 600 km silná
3. jádro: 1,800 km poloměr



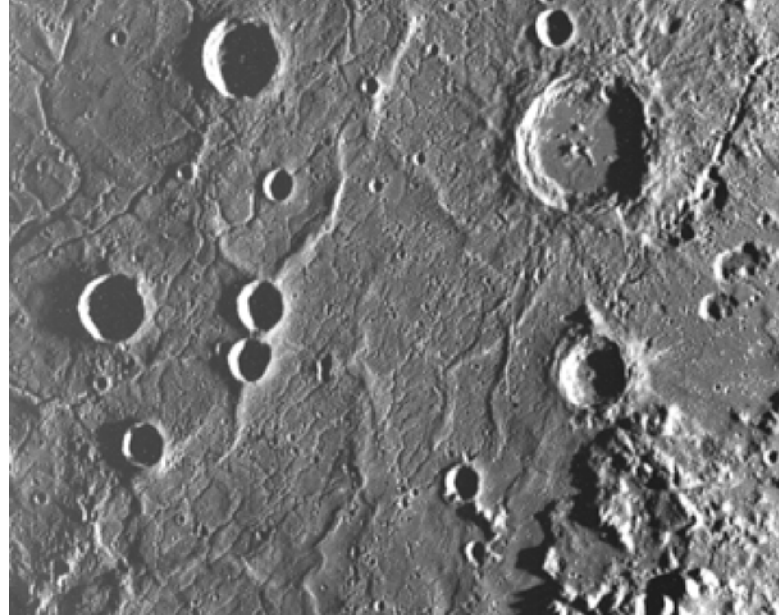




## Povrch Merkuru



ze sondy Mariner 10

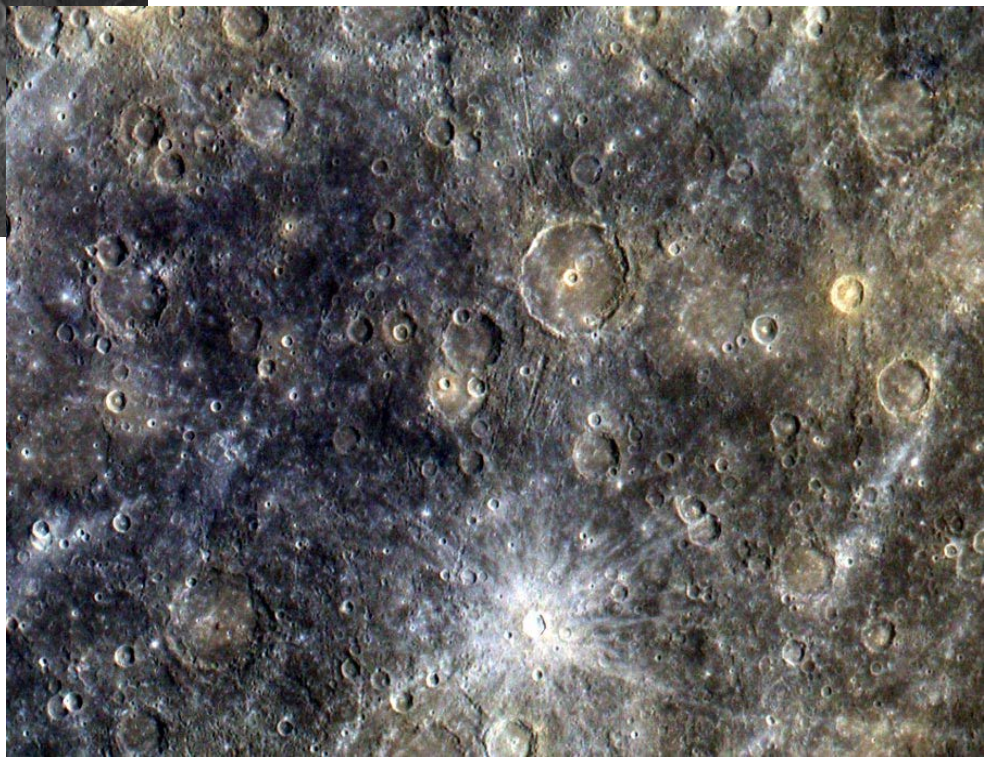


detail dna pánve Caloris

### Sondy:

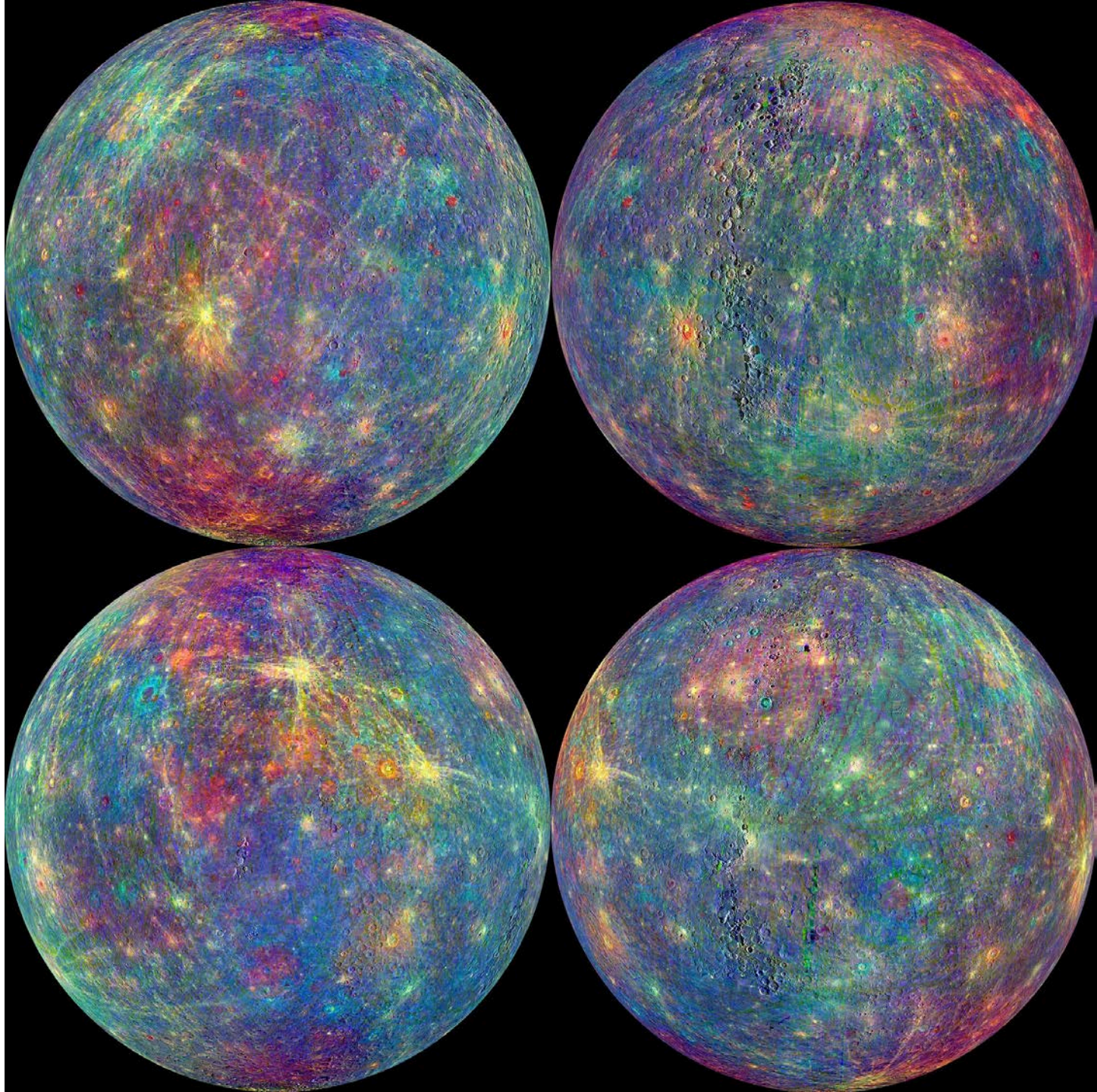
- Mariner 10 (1974-75)
- MESSENGER (2008-15)
- BepiColombo (start 20.10.2018, u Merkuru 2025)

ze sondy MESSENGER





Povrch Merkuru  
ze sondy MESSENGER



barvy odlišují složení povrchu



# Venuše

- téměř stejně velká jako Země, přesto velké rozdíly!

Povrch – není přímo pozorovatelný, vidíme hustou atmosféru



Atmosféra - oblaka 45 - 60 km nad povrchem,

- rotuje rychleji než pevný povrch,
- tvořena téměř výhradně  $\text{CO}_2$ , kapky  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , fosfan???
- silný skleníkový jev => teplota na povrchu  $490\text{ }^\circ\text{C}$ , tlak 90x větší než na Zemi

Průzkum – povrchu pomocí radaru (sonda Magellan, Venus Express)

- přistání (sondy Veněra), jap. Akatsuki (od 2015), v plánu DAVINCI (2021), Veněra-D (2026)...



Záběr Venušina povrchu  
(sonda Veněra 13).

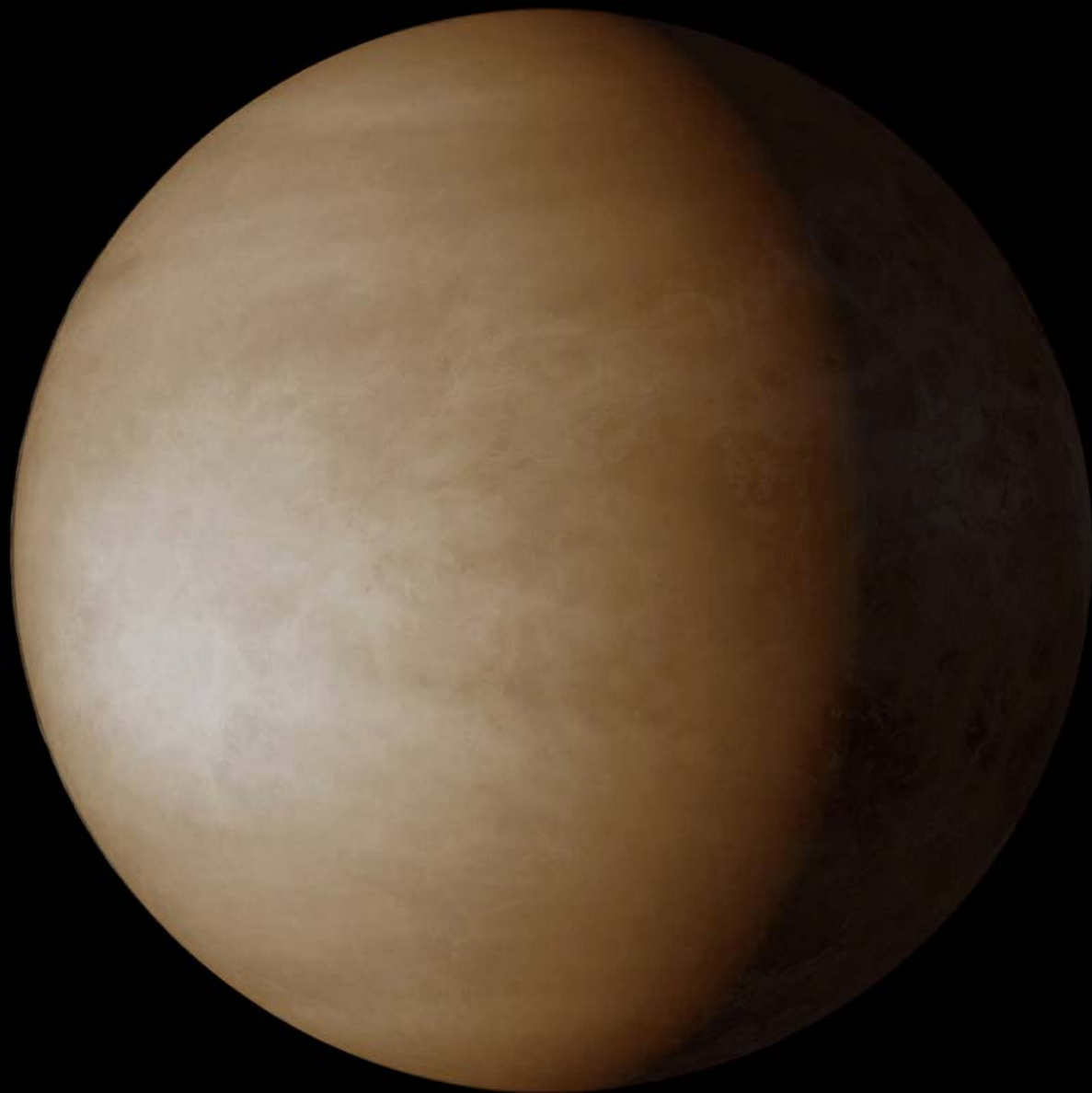


# Venuše

průměr: 12 103 km

hustota:  $5,25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

teplota:  $+482 \text{ }^\circ\text{C}$

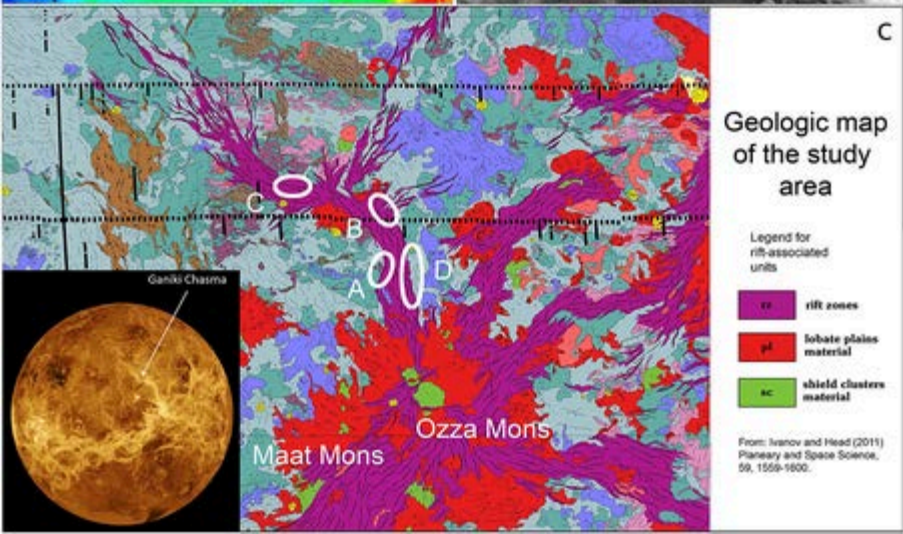
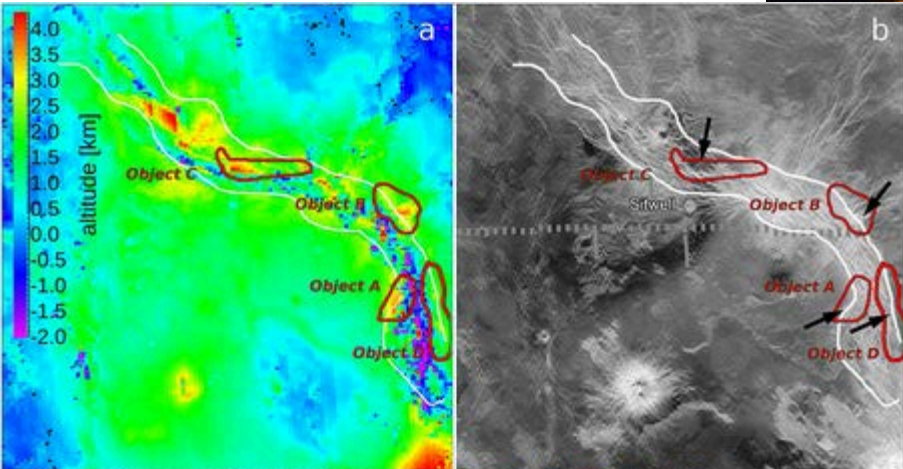
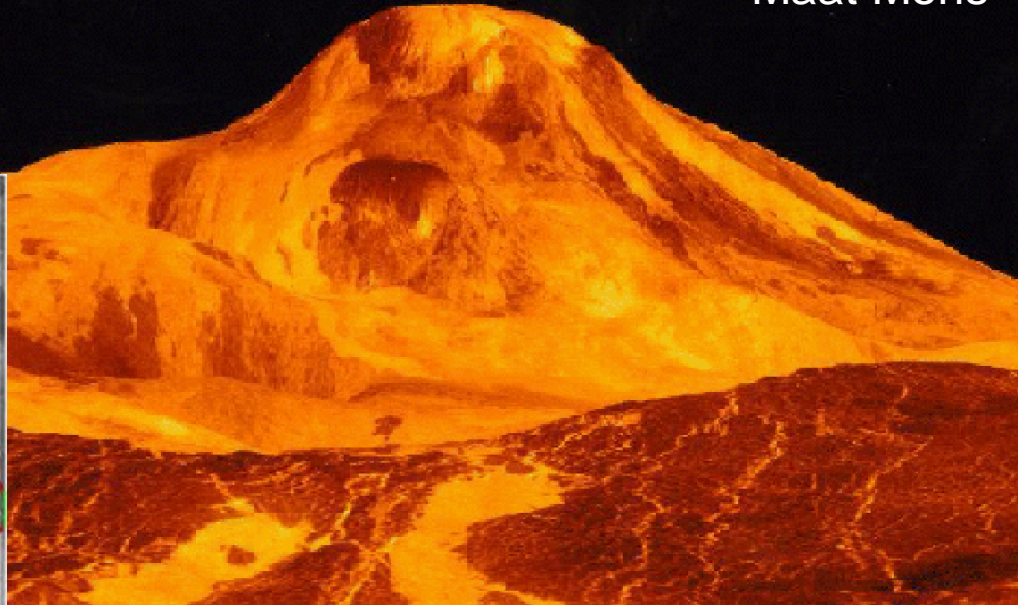


Pohyby – perioda rotace 243 d x doba oběhu 224,7 d !

Povrch - štítové sopky (podobné havajským na Zemi) - *Theia Mons* a *Rhea Mons* (v oblasti Beta Regio) - nejobemnější známé vulkány – základna o průměru 1000 km, výška 5 km nad okolí

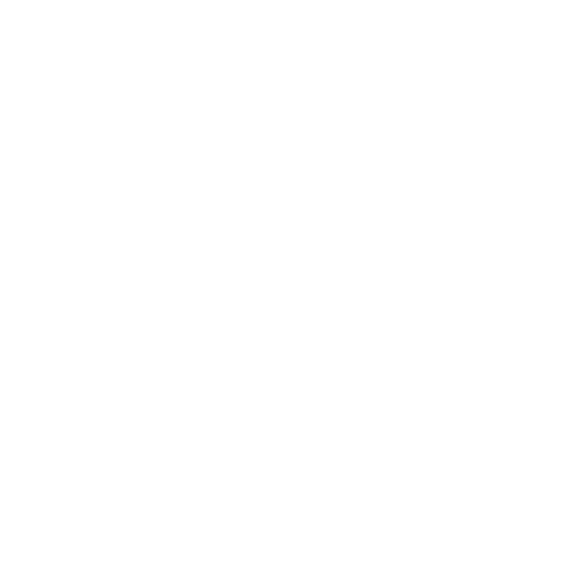
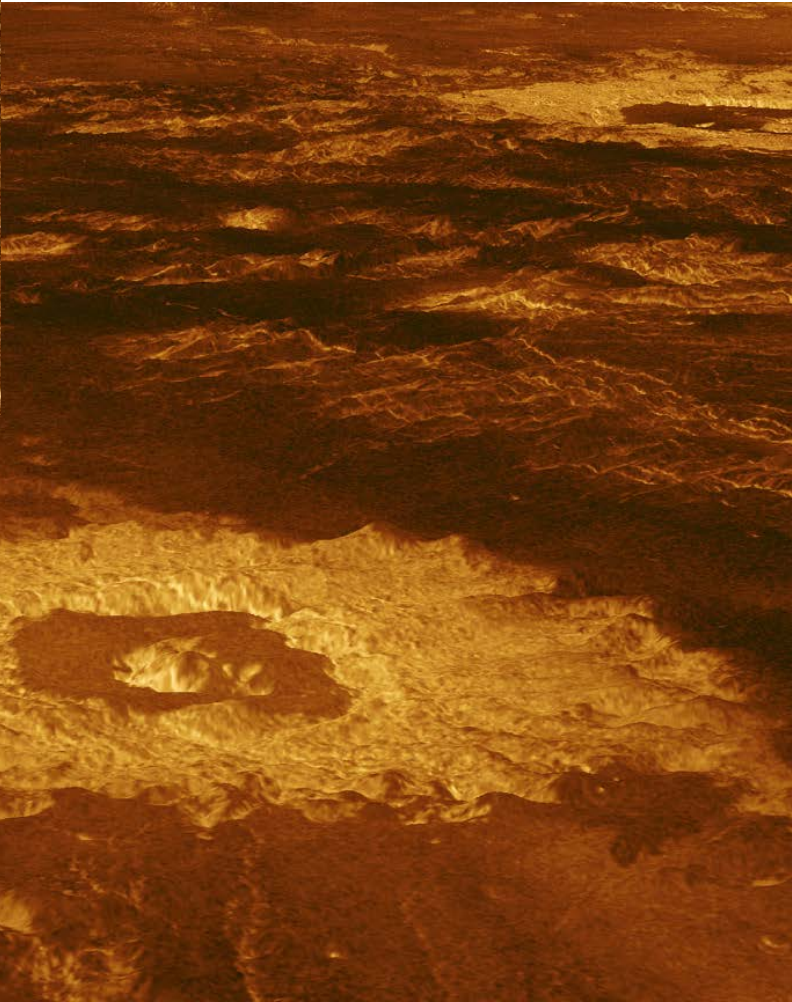
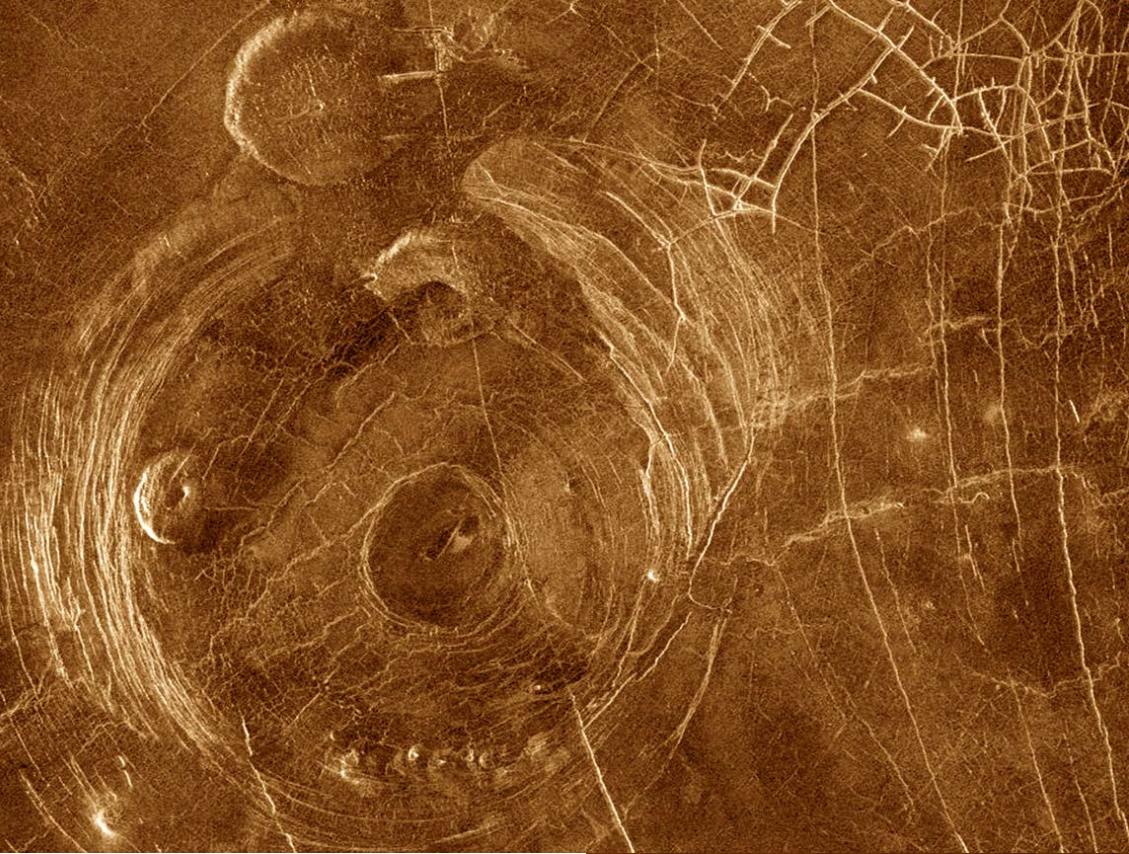
- více než 85 % povrchu sopečného původu,

Maat Mons



červenec 2020 – 37 aktivních sopek!











# Země

Poloměr – 6378 km  
Hmotnost –  $6 \cdot 10^{24}$  kg

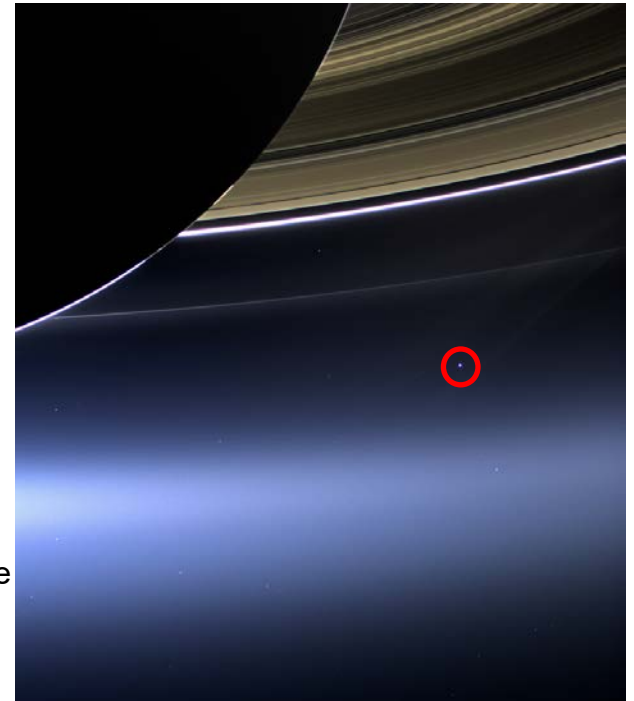
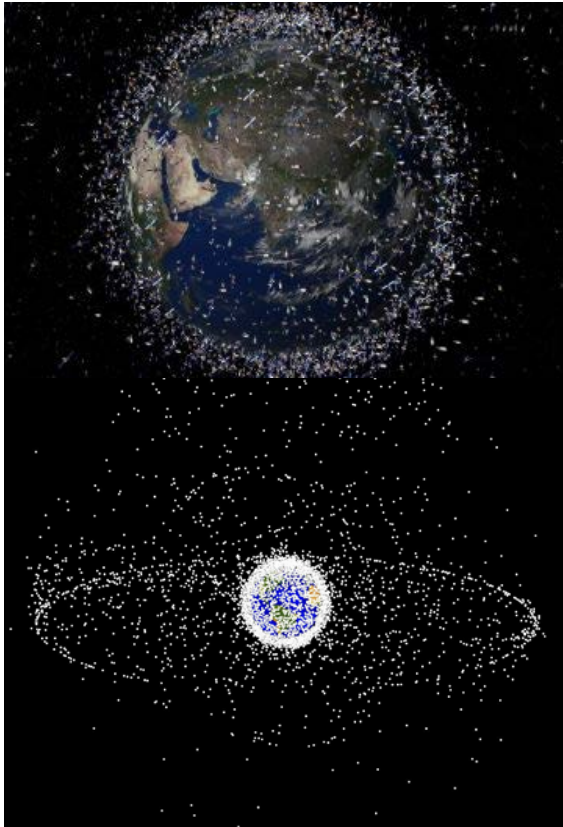
Okolí – družice Měsíc, velké množství umělých družic a kosmického smetí  
(cca  $10^6$  úlomků větších než 1 cm)



Pale Blue Dot (Voyager 1, Sagan)

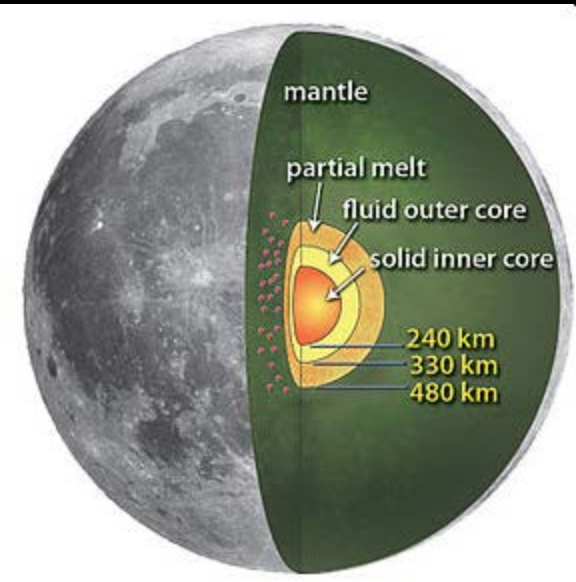


ClearSpace-1  
plánovaný start 2025



Snímek Země ze sondy CASSINI  
19.7.2013

# Měsíc



# Průzkum Měsíce

1959 – Luna 2 1. umělé těleso na Měsíci, 1. fotografie odvrácené strany (Luna 3)

1966 – 1. měkké přistání (Luna 9)

1969-72 program Apollo

1973 Lunochod

1994 Clementine – detekce vodního ledu

1998-9 Lunar Prospector – vysoké koncentrace vodíku pod povrchem

2003 – Smart 1 – rtg. průzkum, dopad; sonda ESA

2007-9 – Selene – japonská sonda

2008 Chandrayaan-1 – indická sonda

2009 - Lunar Crater Observation and Sensing Satellite (LCROSS)

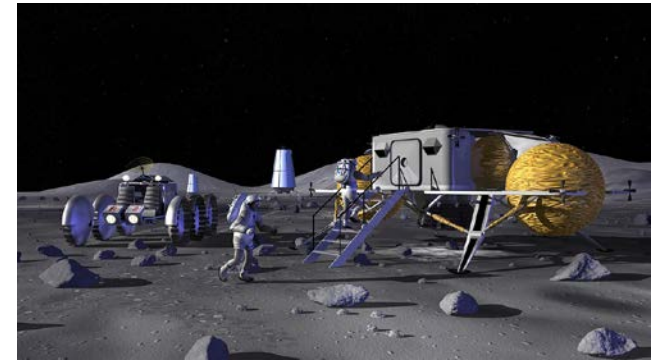
2011-2 – Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL)

2013 – Chang'e – 1. měkké přistání po r. 1976, vozítko Nefritový králík, stálá základna, observatoř

2018 – Chang'e 4 – 1. přistání na odvrácené straně družice – Indie, Japonsko, USA, Čína, Rusko, ESA, Izrael, soukromé firmy ...

2020 - Chang'e 5 – odběr vzorků a návrat na Zemi

???? – návrat lidí, stálá základna



# Mars

nejvíce podobná Zemi, i když menší (podobné střídání dnů a nocí a ročních období)



- Povrch
- **polární čepičky** – viditelné už v menším dalekohledu, horní část CO<sub>2</sub>, dolní H<sub>2</sub>O
  - voda – v polárních čepičkách; permafrost (stále zmrzlé půda); důkaz tekoucí vody pomocí sádrovce (2011)
  - prach, písek => písečné bouře (i globálního charakteru!)
  - pánve – rozsáhlé, zhruba kruhové plošiny; největší *Hellas* - průměr 1600 km, hloubka 6 km
  - **praskliny** v kůře - *Valles Marineris* (Údolí Marinerů) – celý komplex – délka 5000 km, šířka až 240 km, hloubka až 8 km
  - štítové sopky – většinou v oblasti *Tharsis*; největší sopka ve Sluneční soustavě – Olympus Mons (základna 540 km, výška 26 km nad okolím)
  - dlouhá údolí – podobná pozemským říčním tokům
  - krátery – zejména na jižní polokouli

Co je právě teď vidět na Marsu - <https://skyandtelescope.org/observing/interactive-sky-watching-tools/mars-which-side-is-visible/>

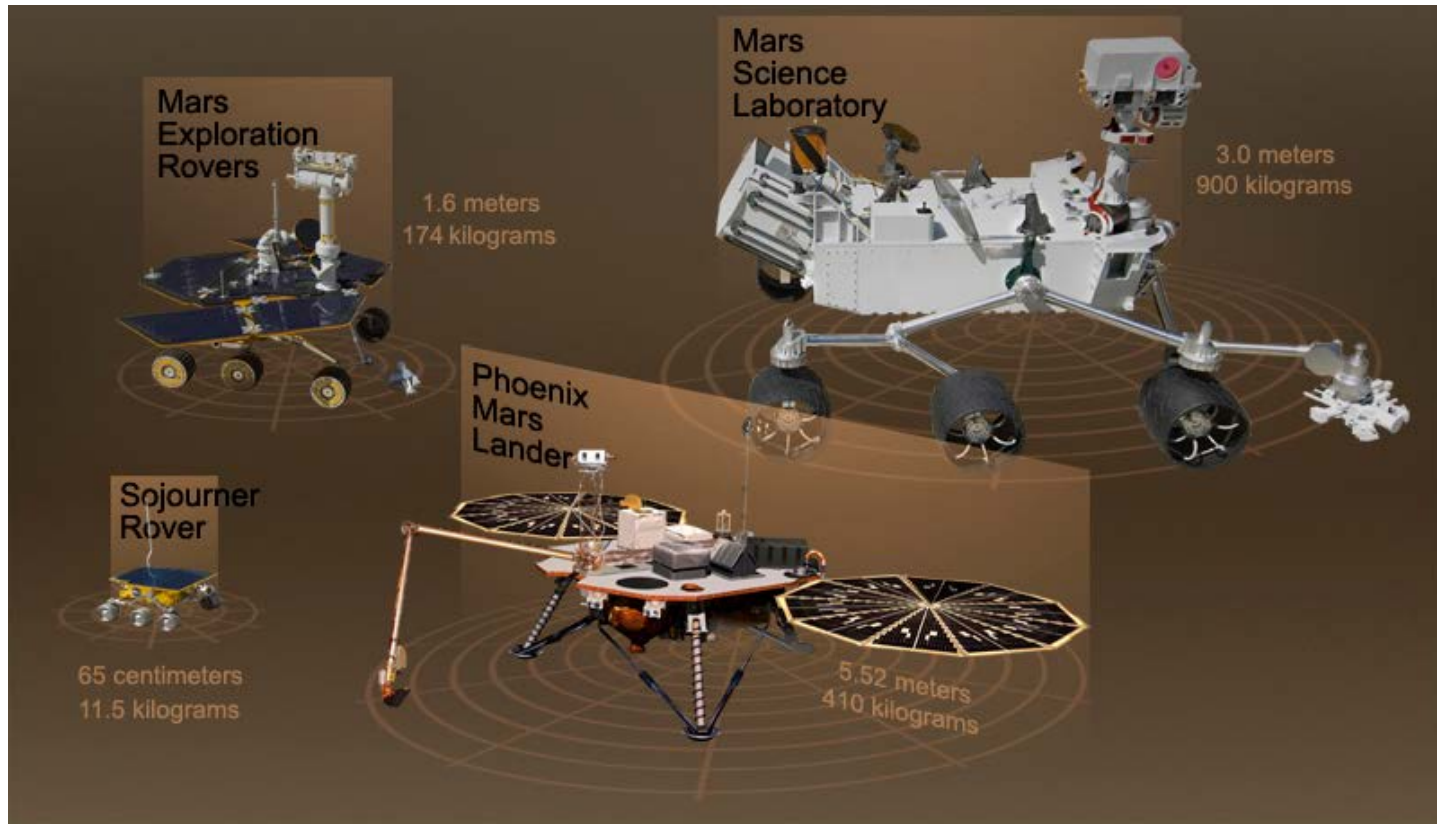


## Kosmický výzkum

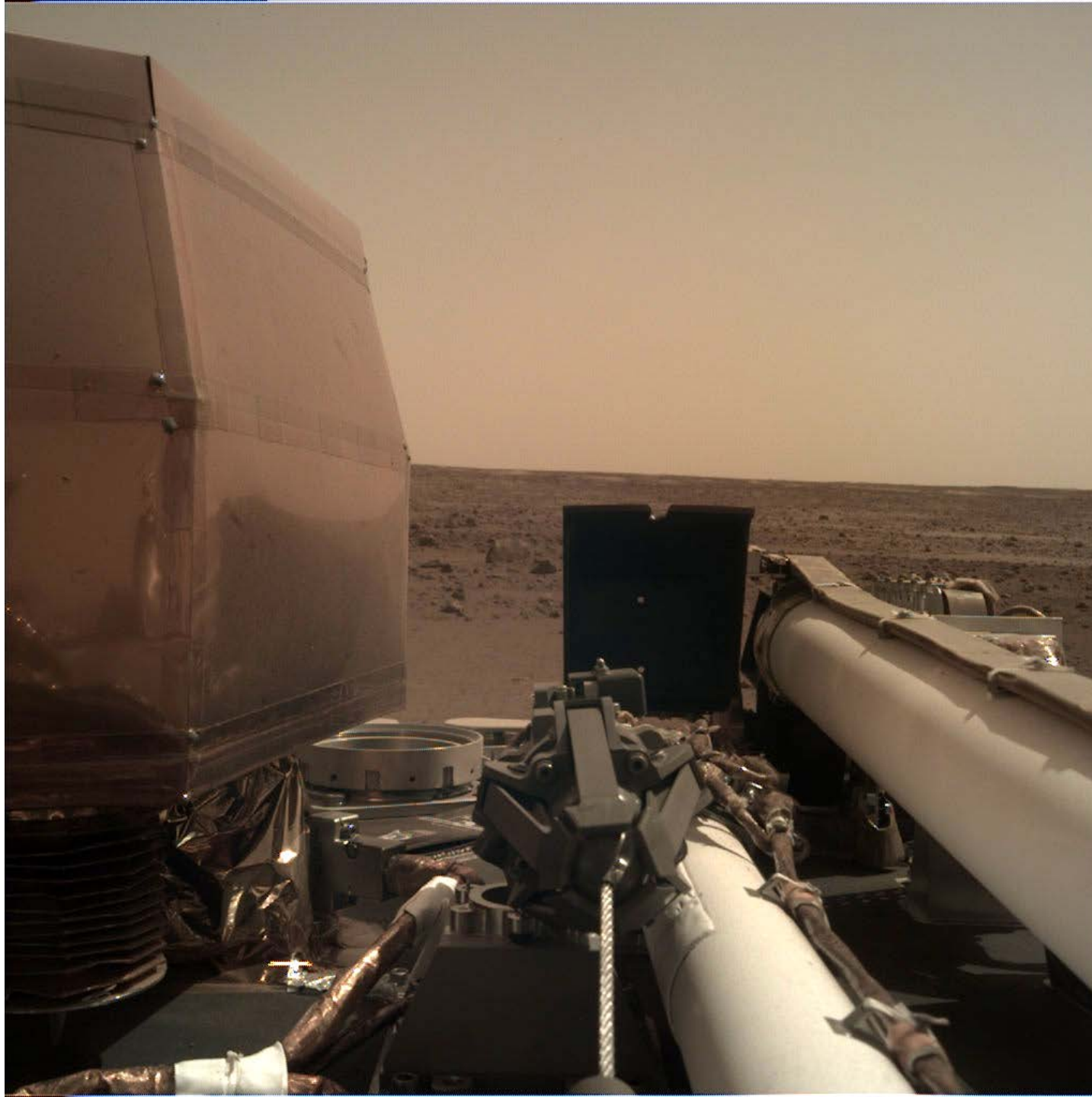
Průzkum – Mars, Viking, Pathfinder, Mars Explorer, Mars Express, Mars Orbiter, Mars Exploration Rover, Mars Reconnaissance Orbiter, Phoenix, Mars Science Laboratory (Curiosity) ... např. v roce 2014 – sedm aktivních misí!

poslední starty:

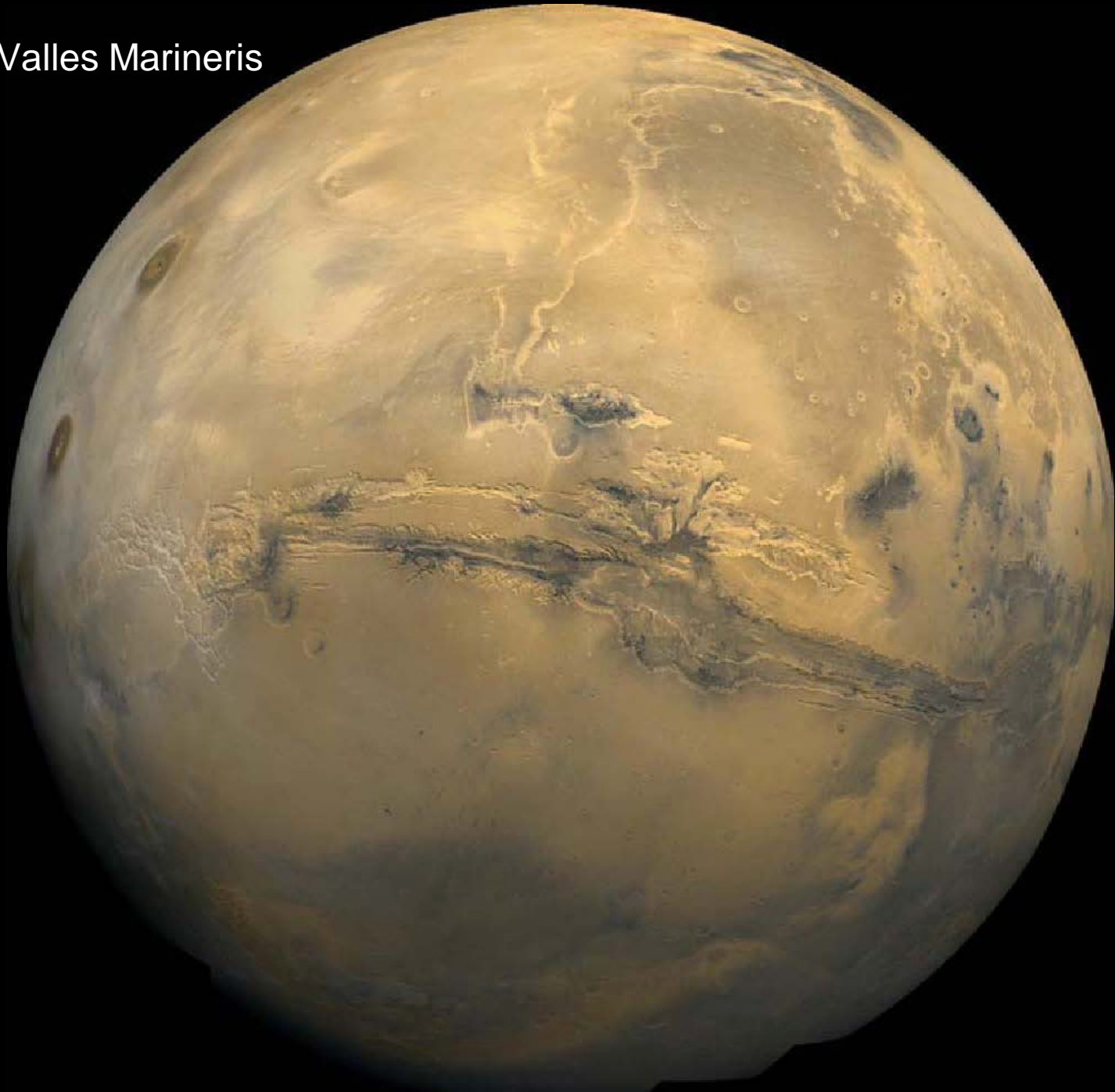
- 2018 InSight (Mars Cube One) - přistání 26.11.2018
- 2020 - Emirates Mars Mission (SAE) – orbiter (přistání únor 2021),
  - Tianwen -1 (Čína) – orbiter + lander/rover (únor-duben 2021),
  - americký Perseverance (rover) + Ingenuity (helikoptéra) (únor 2021)



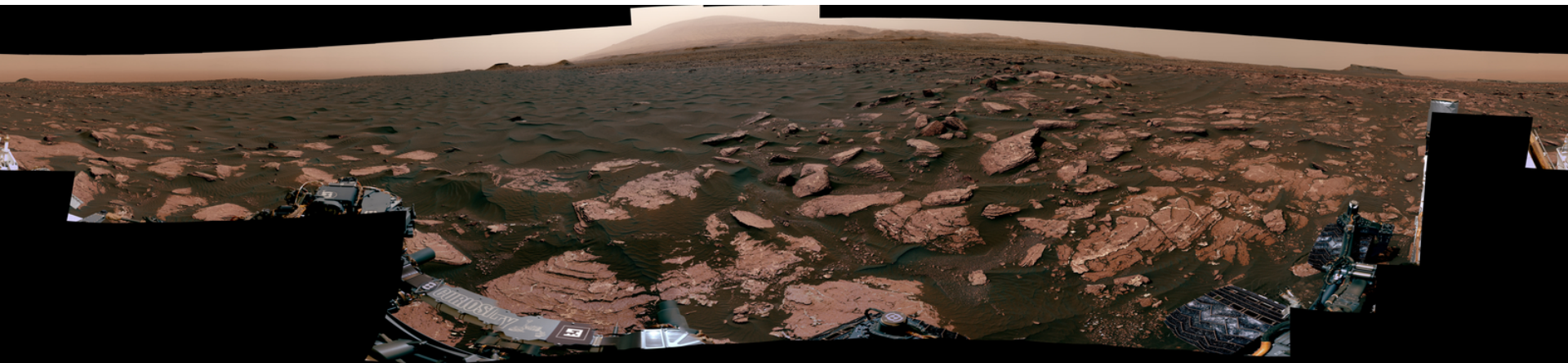
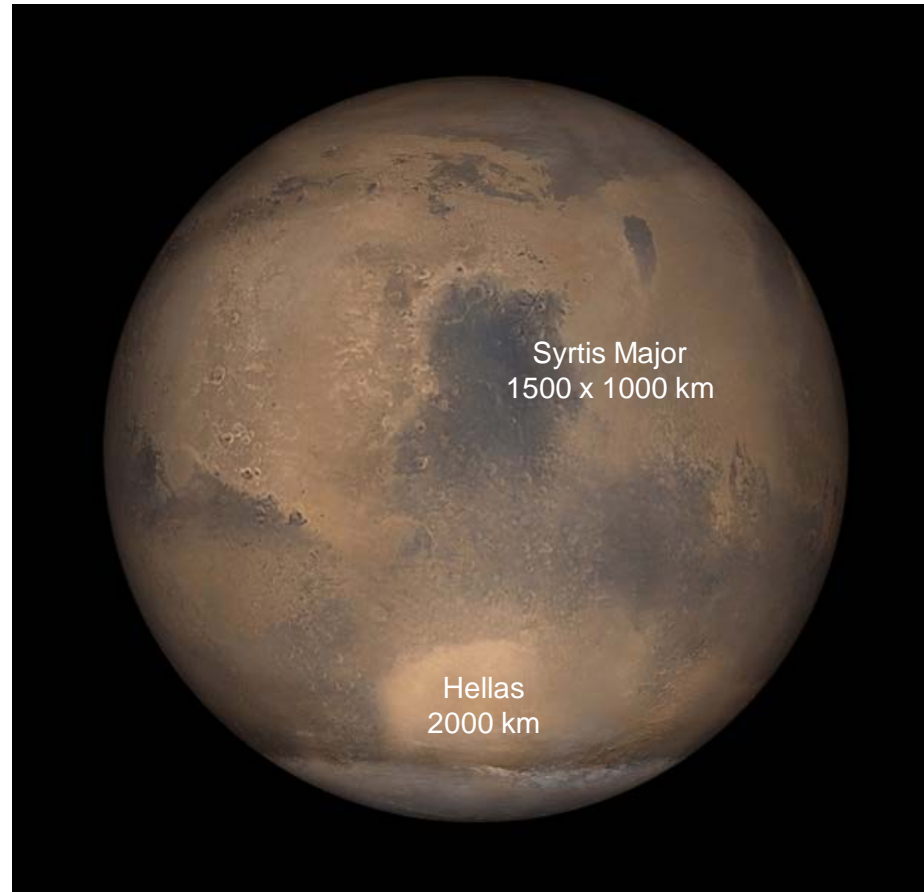
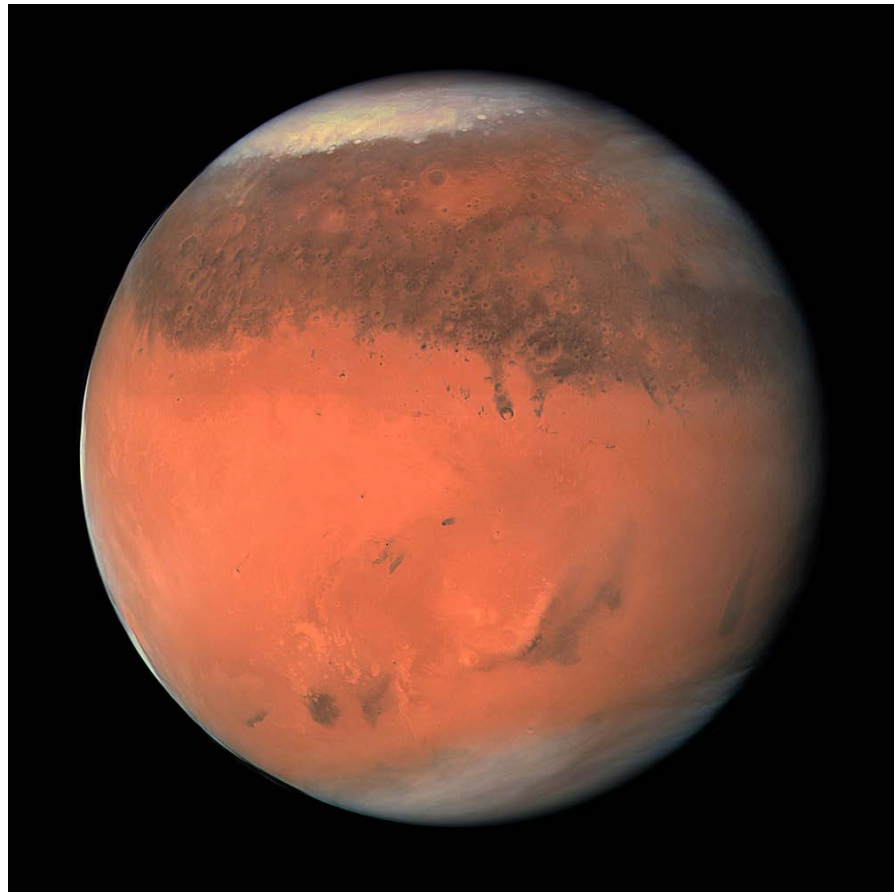
InSight  
27.11.2018



Mars: Valles Marineris





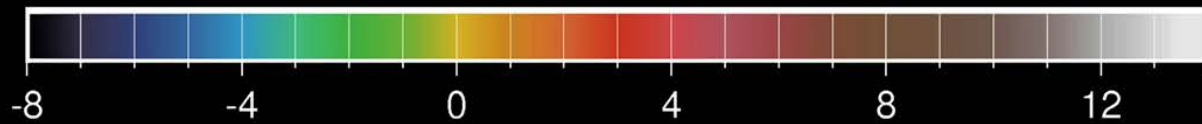
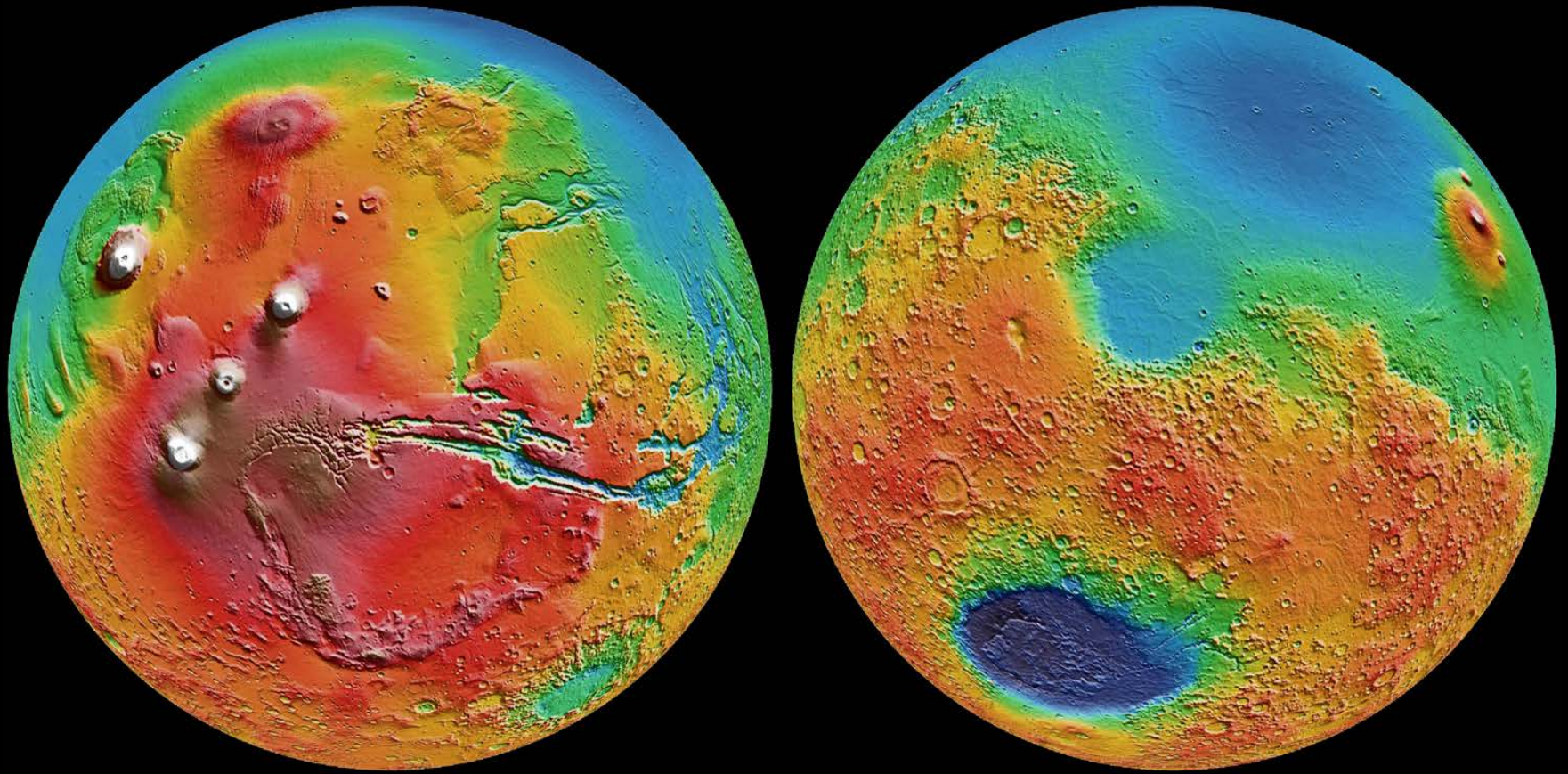


Mars: dust devils



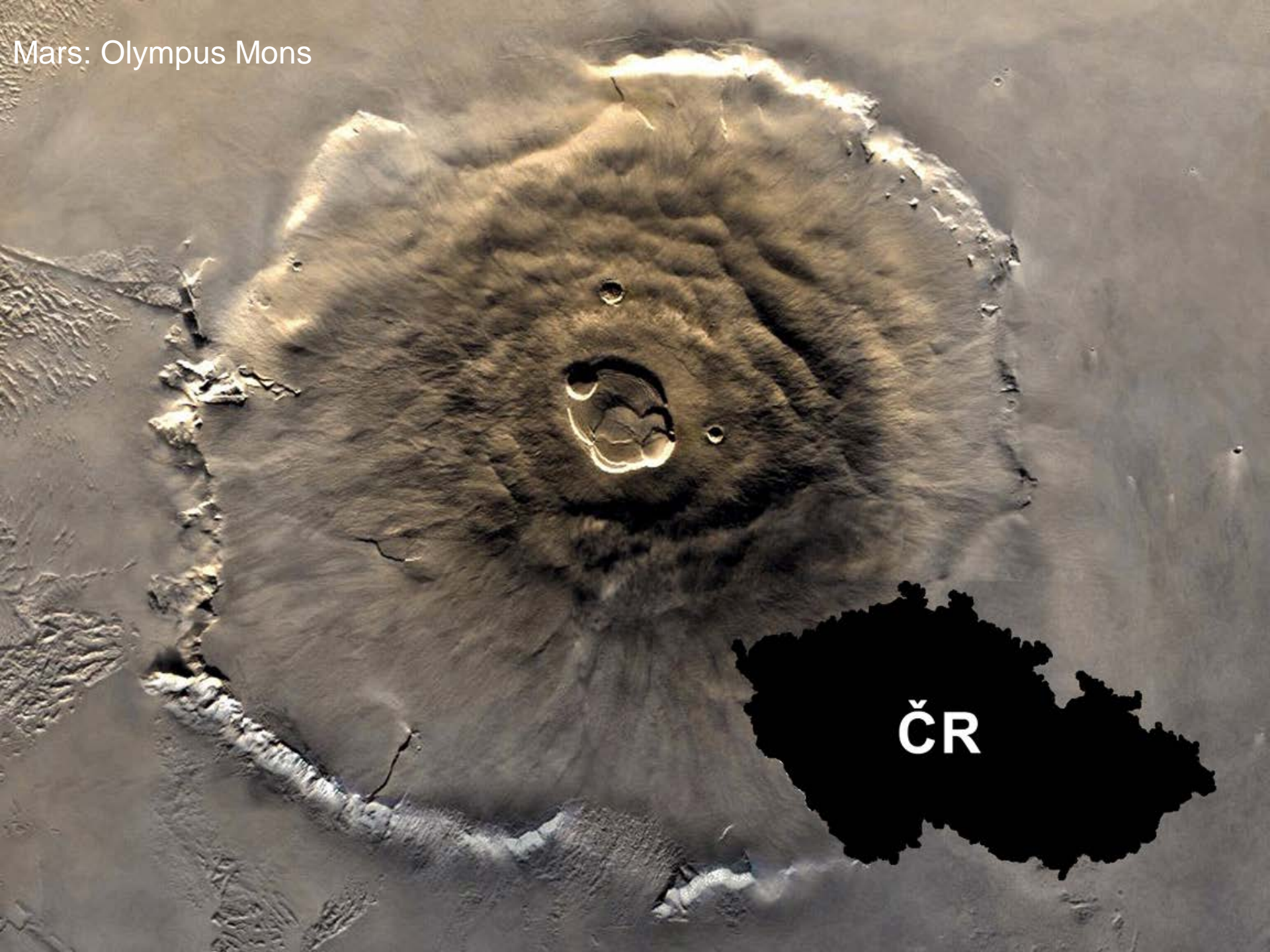


# Topografie Marsu



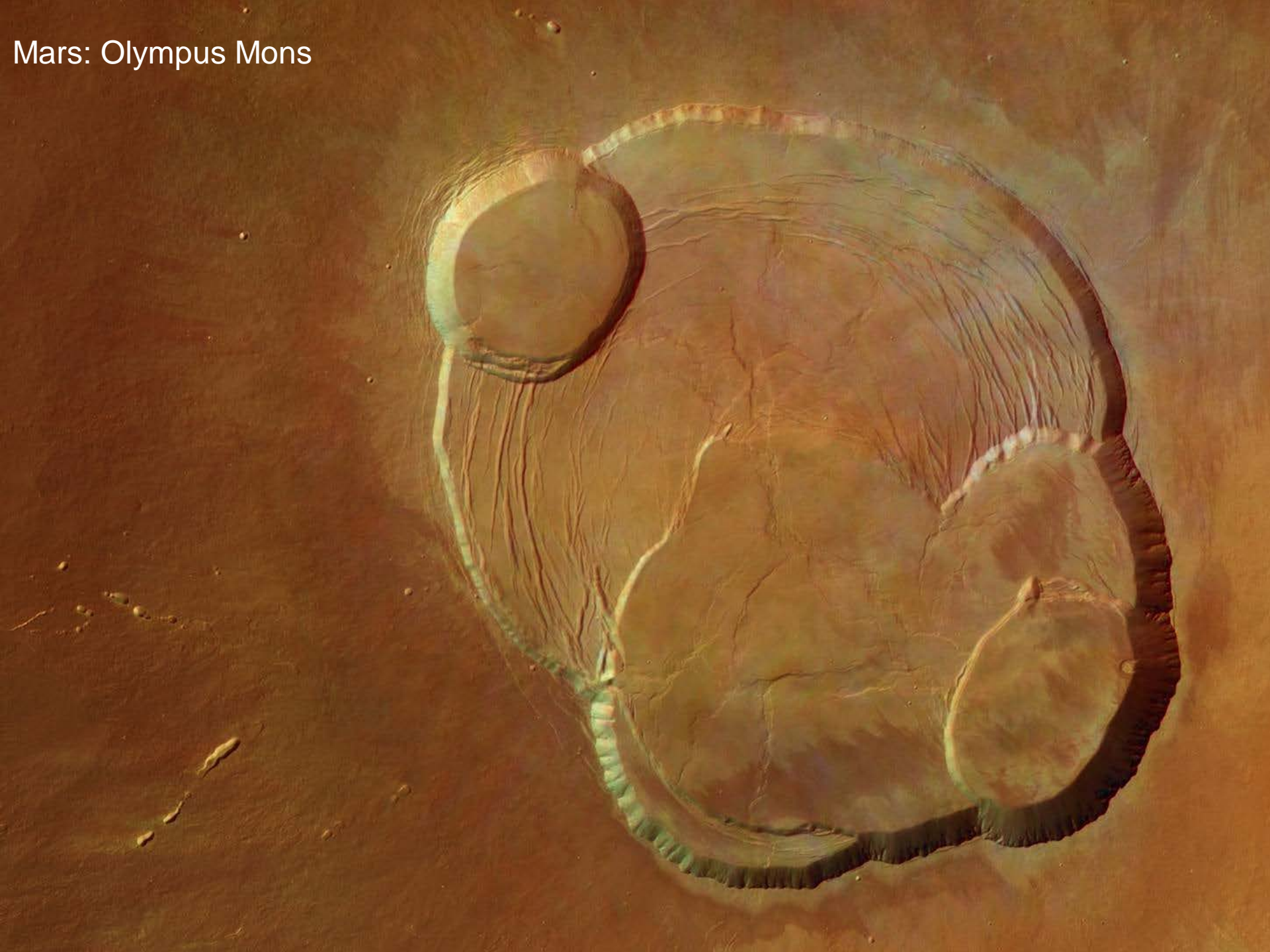


Mars: Olympus Mons

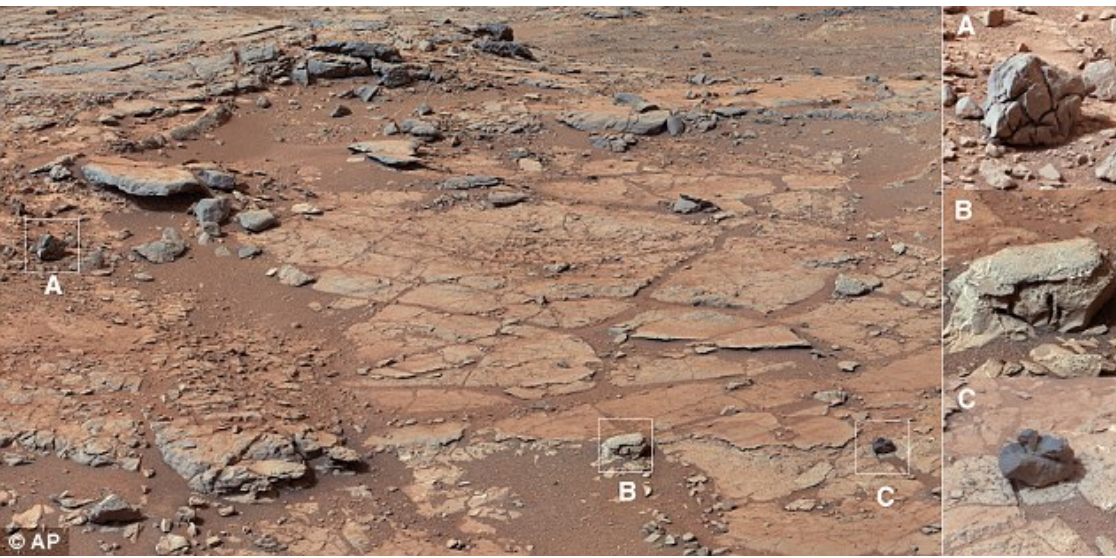




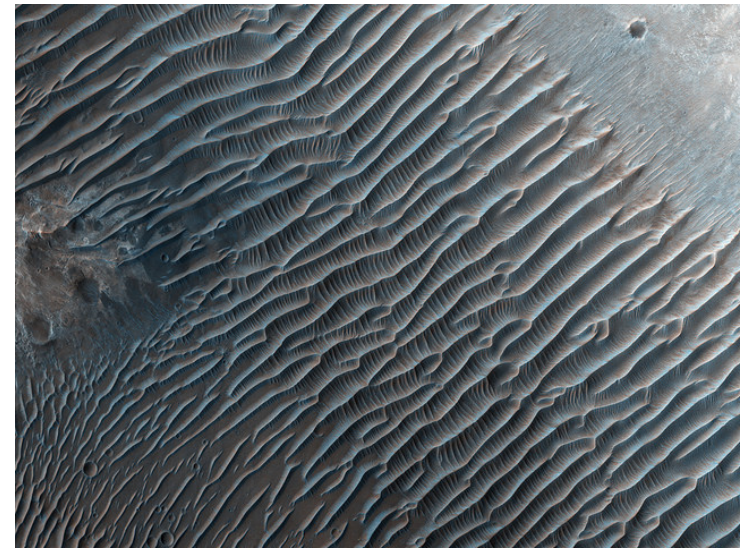
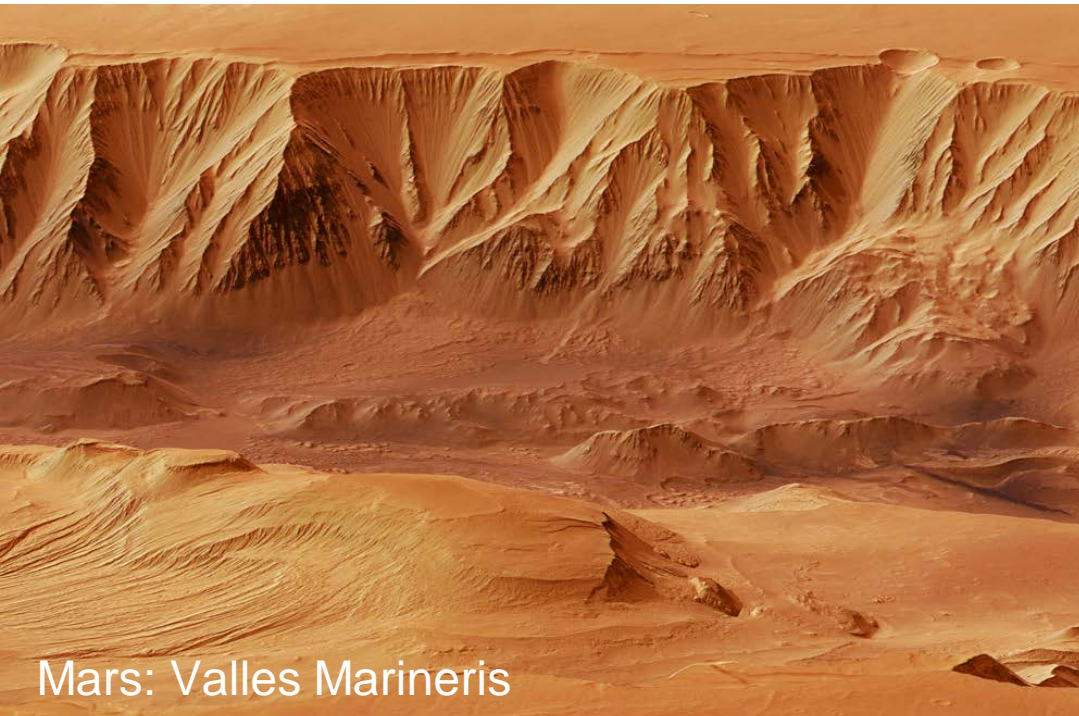
Mars: Olympus Mons







<https://mars.nasa.gov/mro/multimedia/images/>

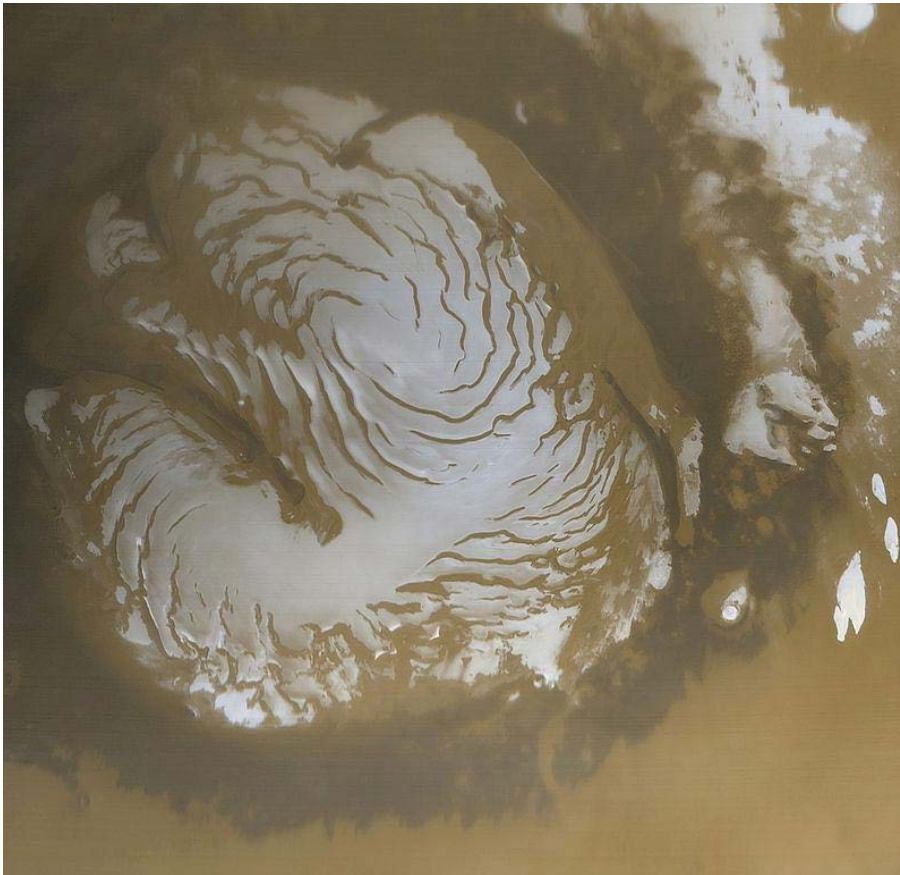
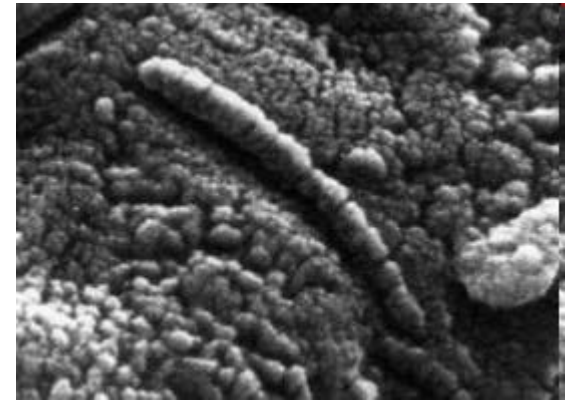




## Život na Marsu?

Přímé důkazy - zatím neexistují;  
pokud ano - jen drobné mikroorganismy.

Polární oblast - vodní led, v zimě překrytý suchým  
ledem (CO<sub>2</sub>)



Družice – Phobos a Deimos

# Jupiter

- obří planeta – typický představitel (prototyp i pro exoplanety)

Průzkum – Pioneer, Voyager 1,2, Galileo...

Juno – od 2016 obíhá

Složení - převážně z vodíku a helia, ostatní (zejména metan a čpavek) – jen příměsi



Povrch – pevný povrch neexistuje; pozorovatelné jen horní vrstvy atmosféry

## Atmosféra

- celková struktura atmosféry (tmavé a světlé pásy) – docela stabilní

x

- malé detaily – rychlé změny

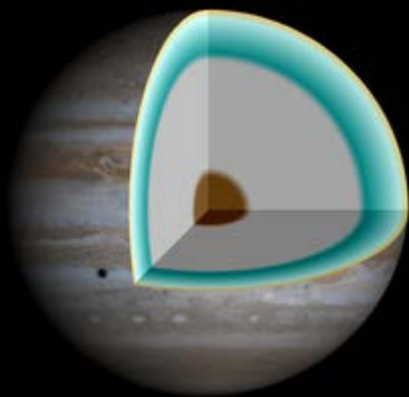
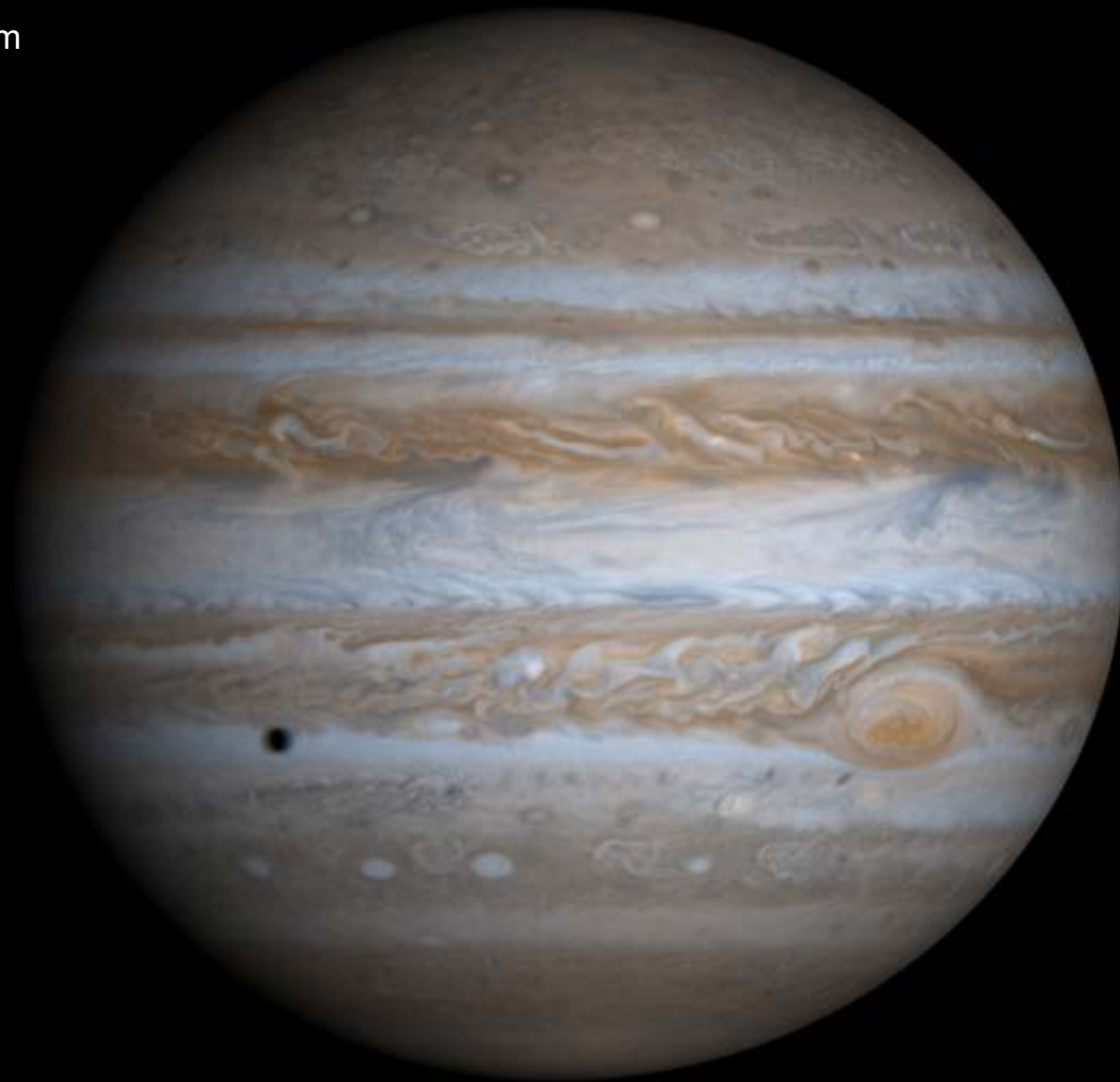
- výjimka - některé skvrny; největší je tzv. *červená/rudá skvrna* - existuje > 300 let ... ale zmenšuje se - zhruba poloviční proti 19. stol.

Silné mg. pole - vznik v nitru planety (H v tekutém stavu, vysoký tlak => kov => kovové jádro generuje mg. pole)

Okolí - čtyři velké družice (galileovské, velikostí srovnatelné s Měsícem)

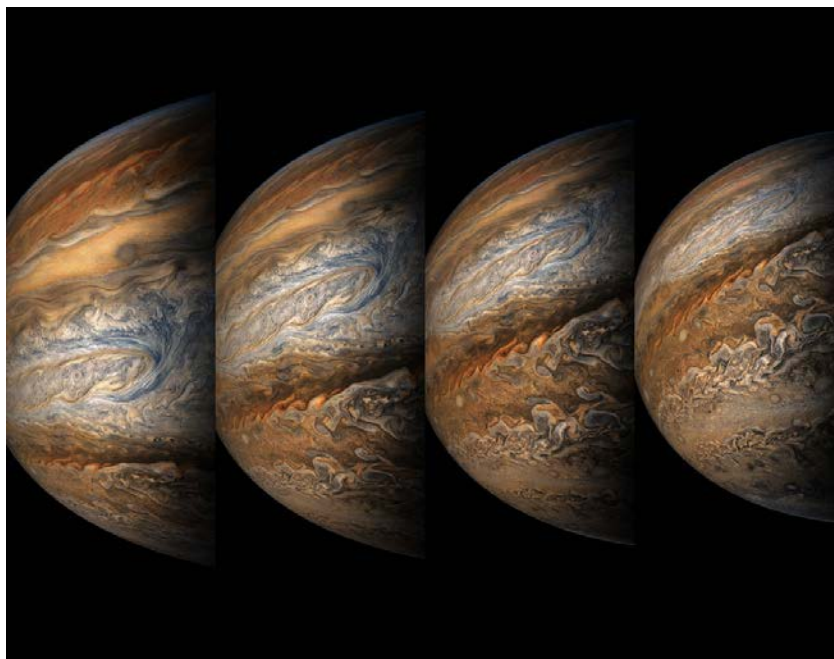
79 (2020) družic menších rozměrů a nevýrazný prsteneček.

poloměr rovníkový: 66 854 km  
poloměr polární: 71 492 km  
hustota: 1,33 g . cm<sup>-3</sup>  
hmotnost: 2.10<sup>27</sup> kg



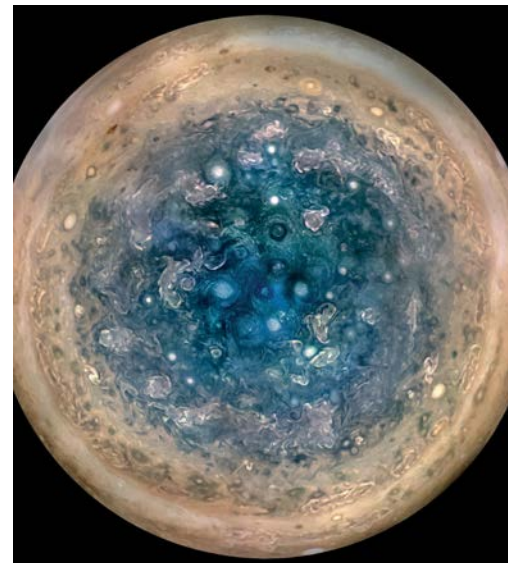
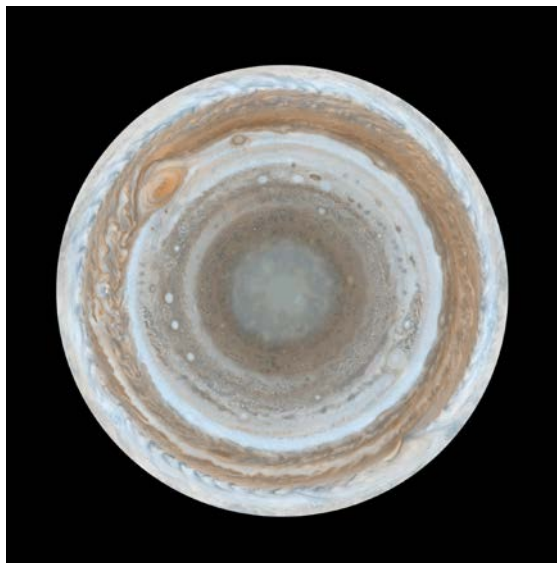


složeno ze snímků Voyageru 1 (1979)



ze sondy  
Juno, 2017

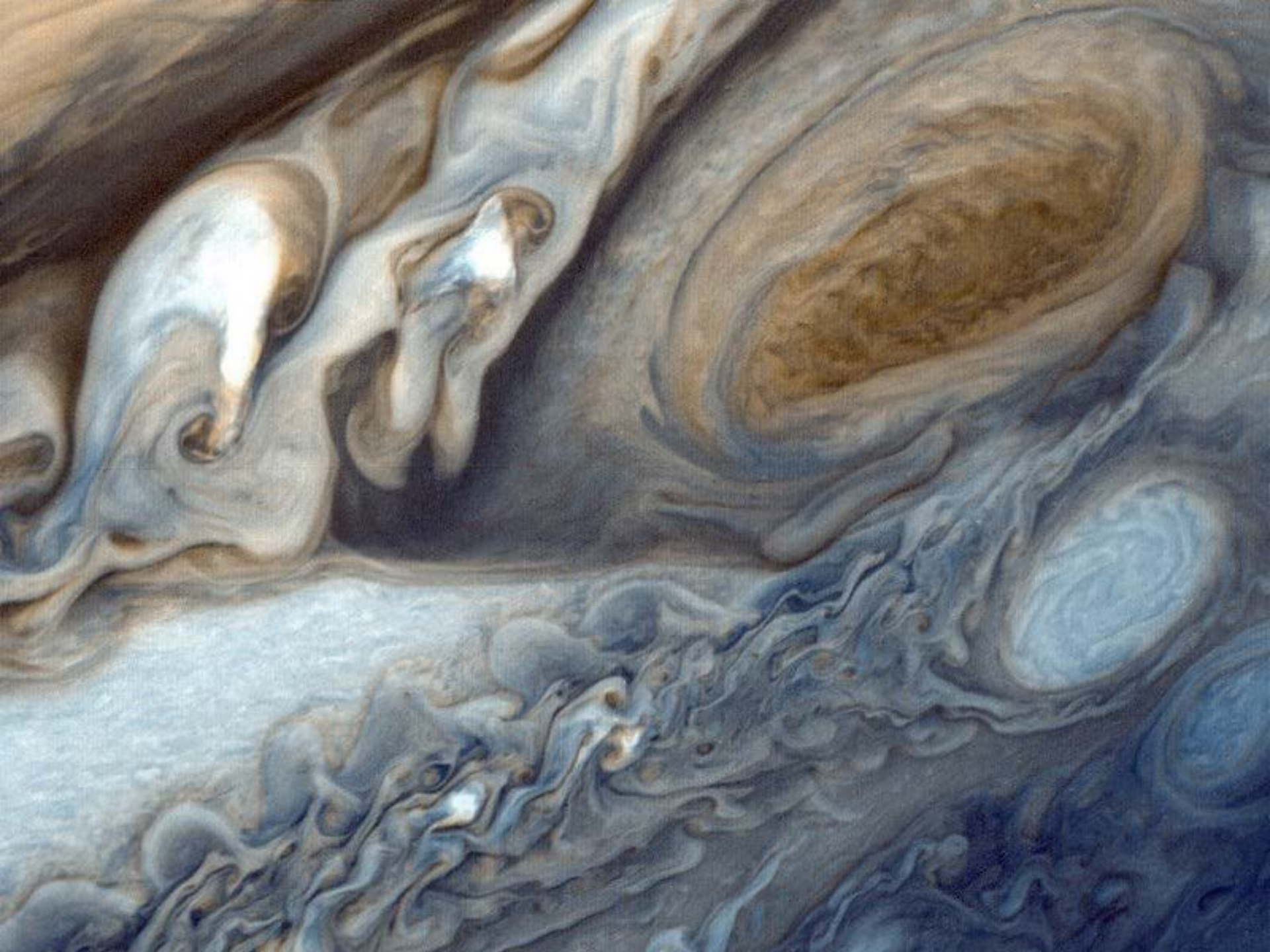
jižní pól,  
Cassini  
(2000)



jižní pól,  
Juno  
2017

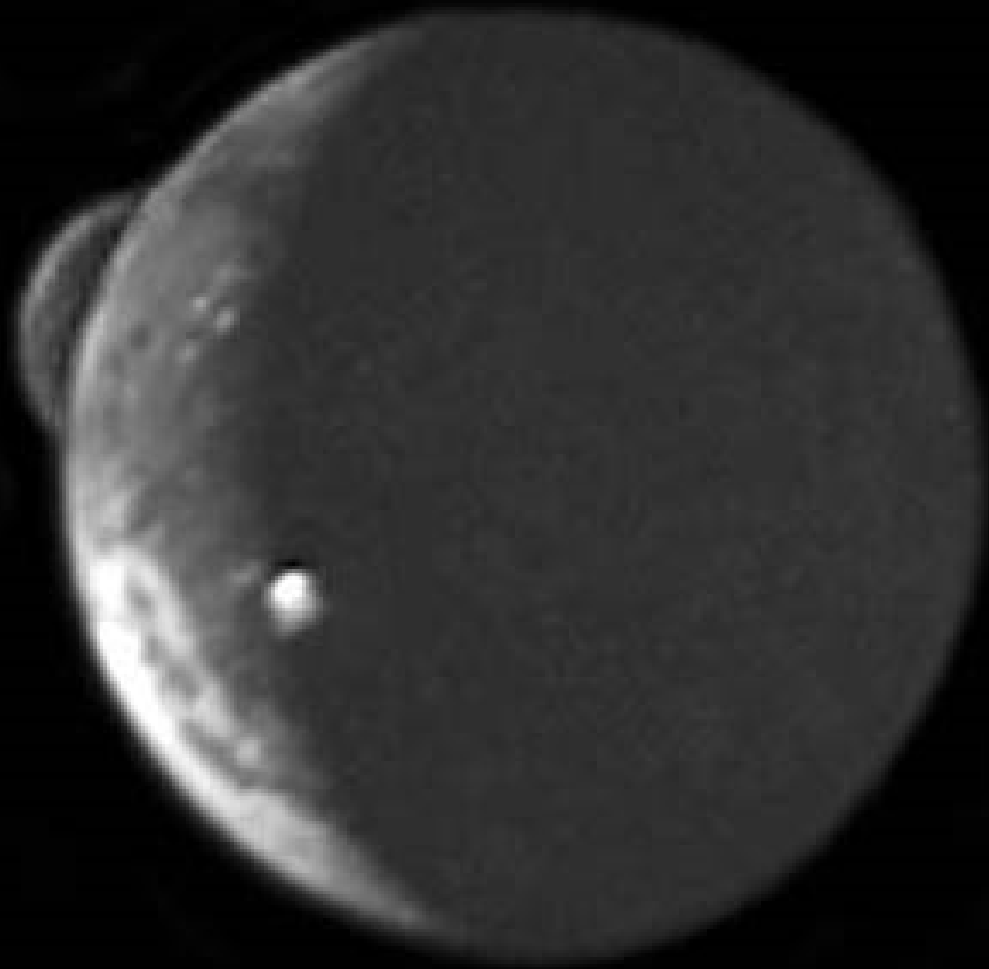








Io



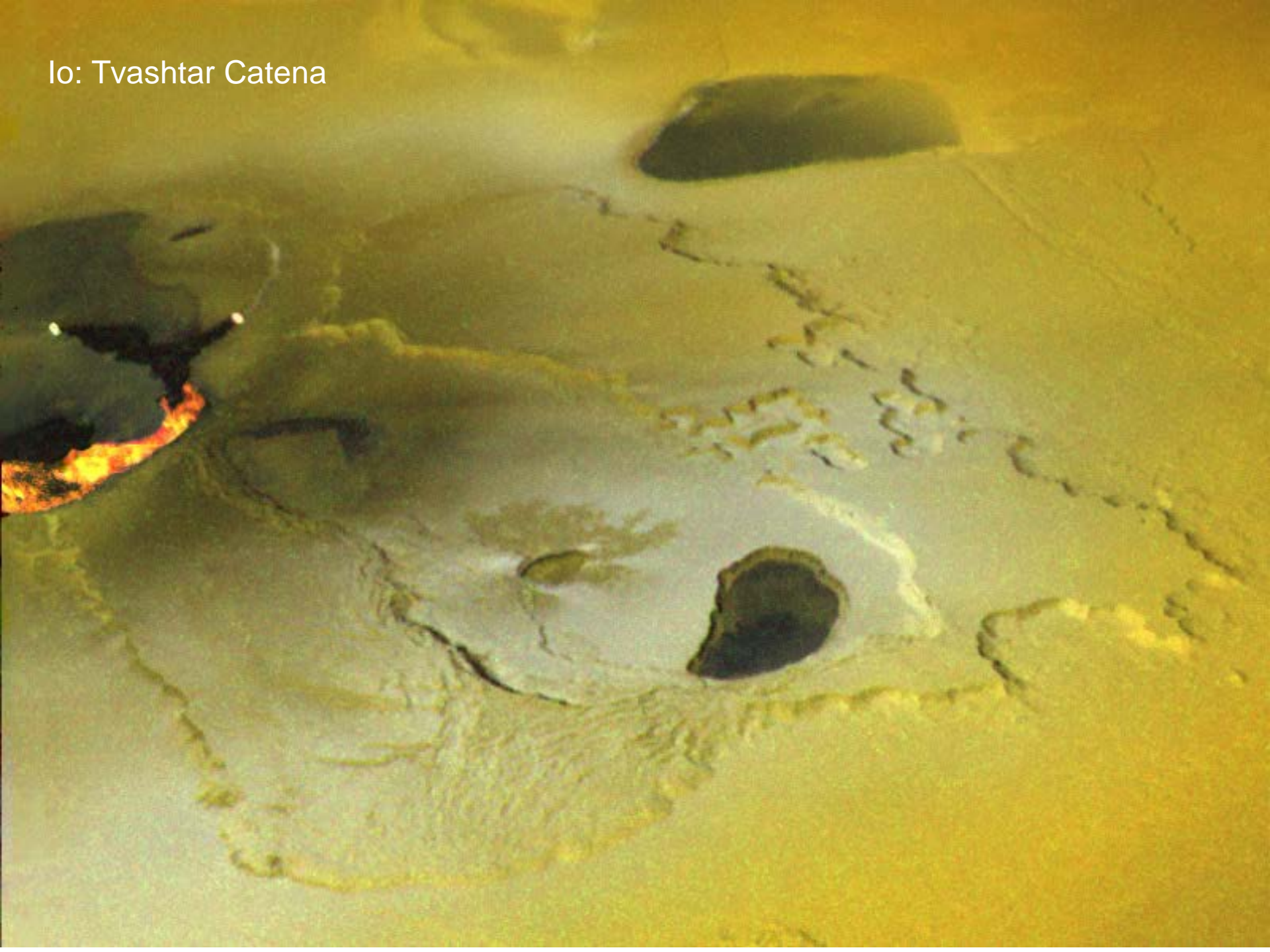


ze sondy Galileo



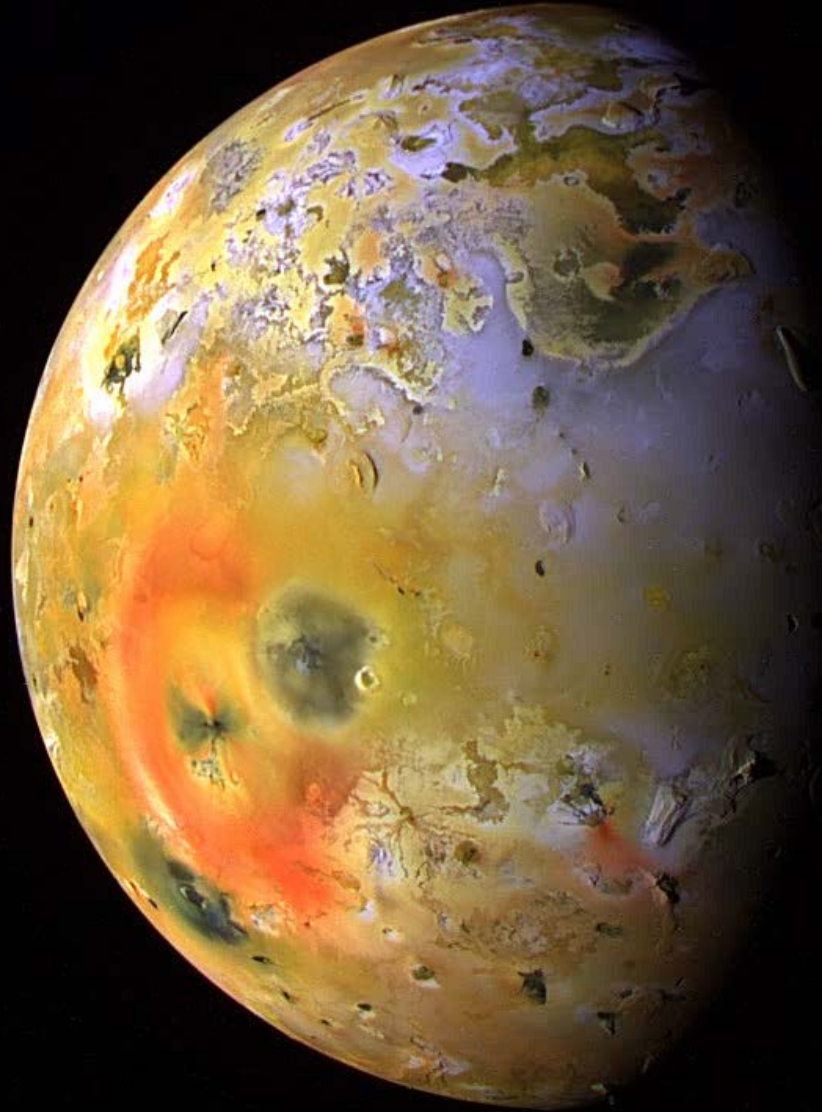
složeno ze snímků  
sondy New Horizon  
v r. 2008

Io: Tvashtar Catena

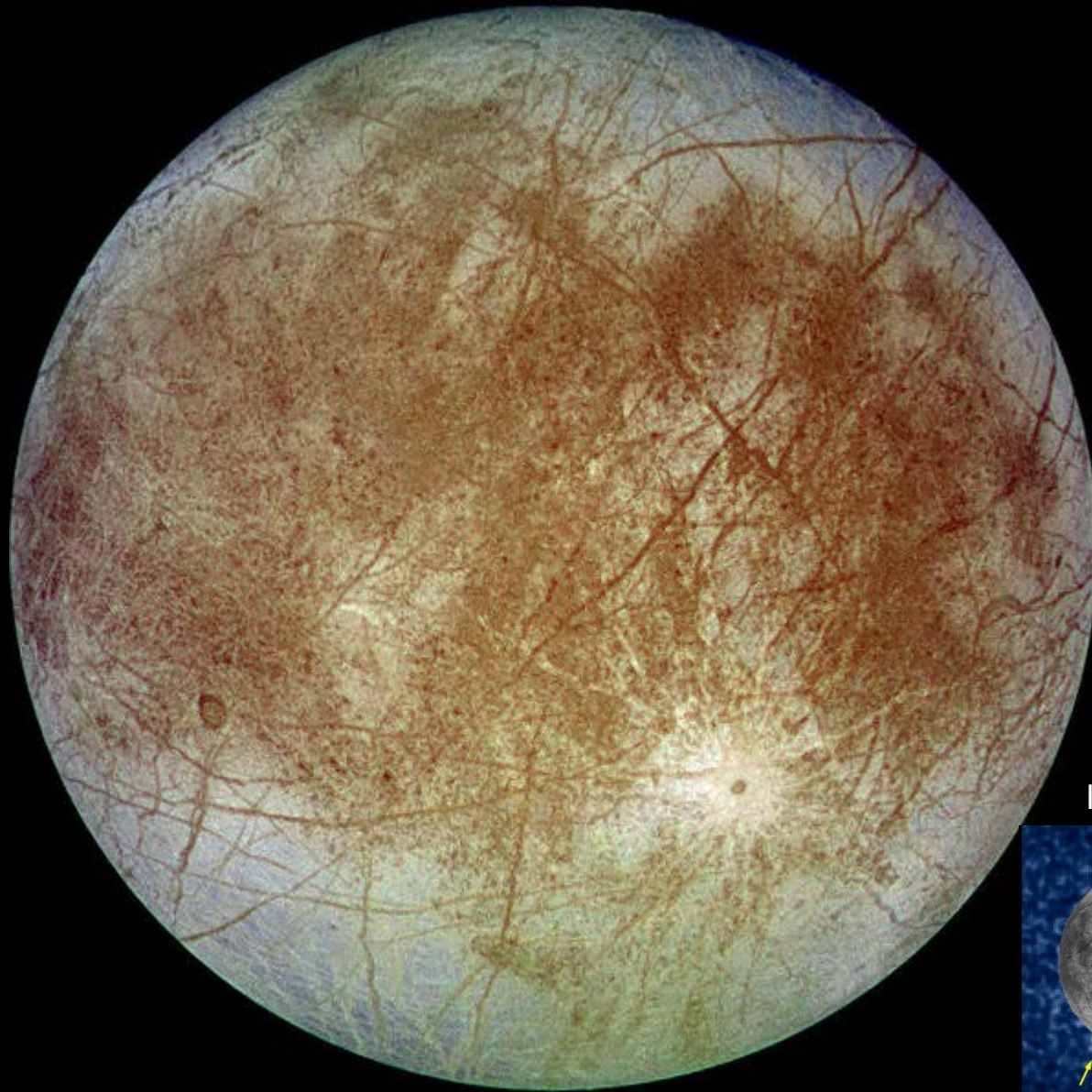




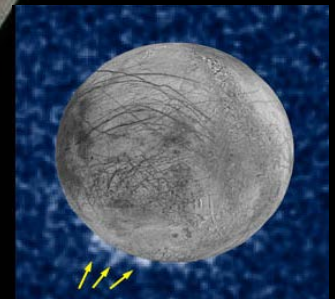
Io: Pelé



# Europa



ledové gejzíry



Ganymed





Callisto



# Saturn

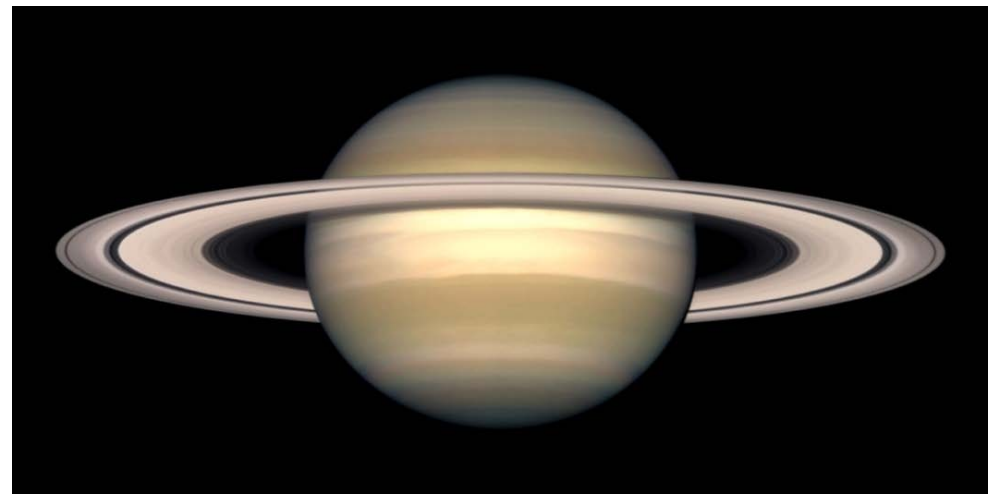
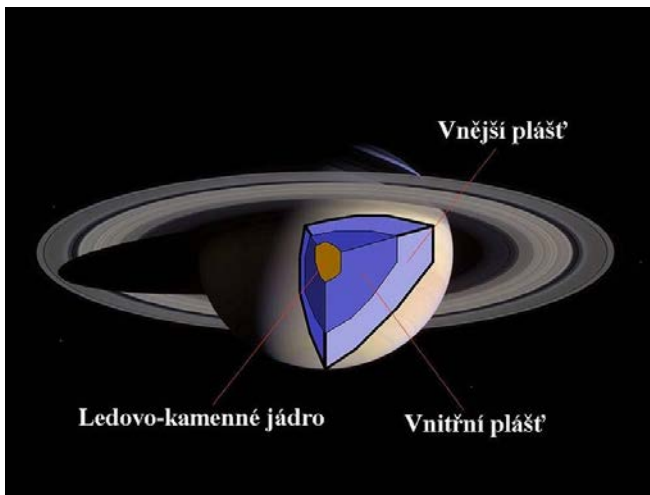
Složení – vodík, helium => velmi malá hustota! –  $0,69 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Průzkum – Pioneer 11, Voyager 1,2, Cassini-Huygens (ukončeno 15.9.2017)

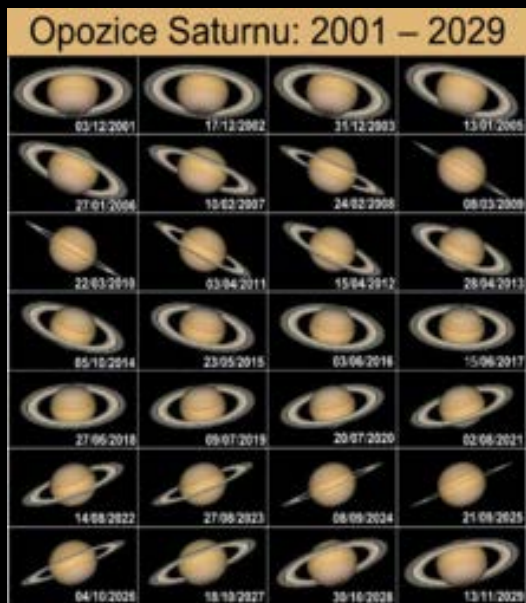
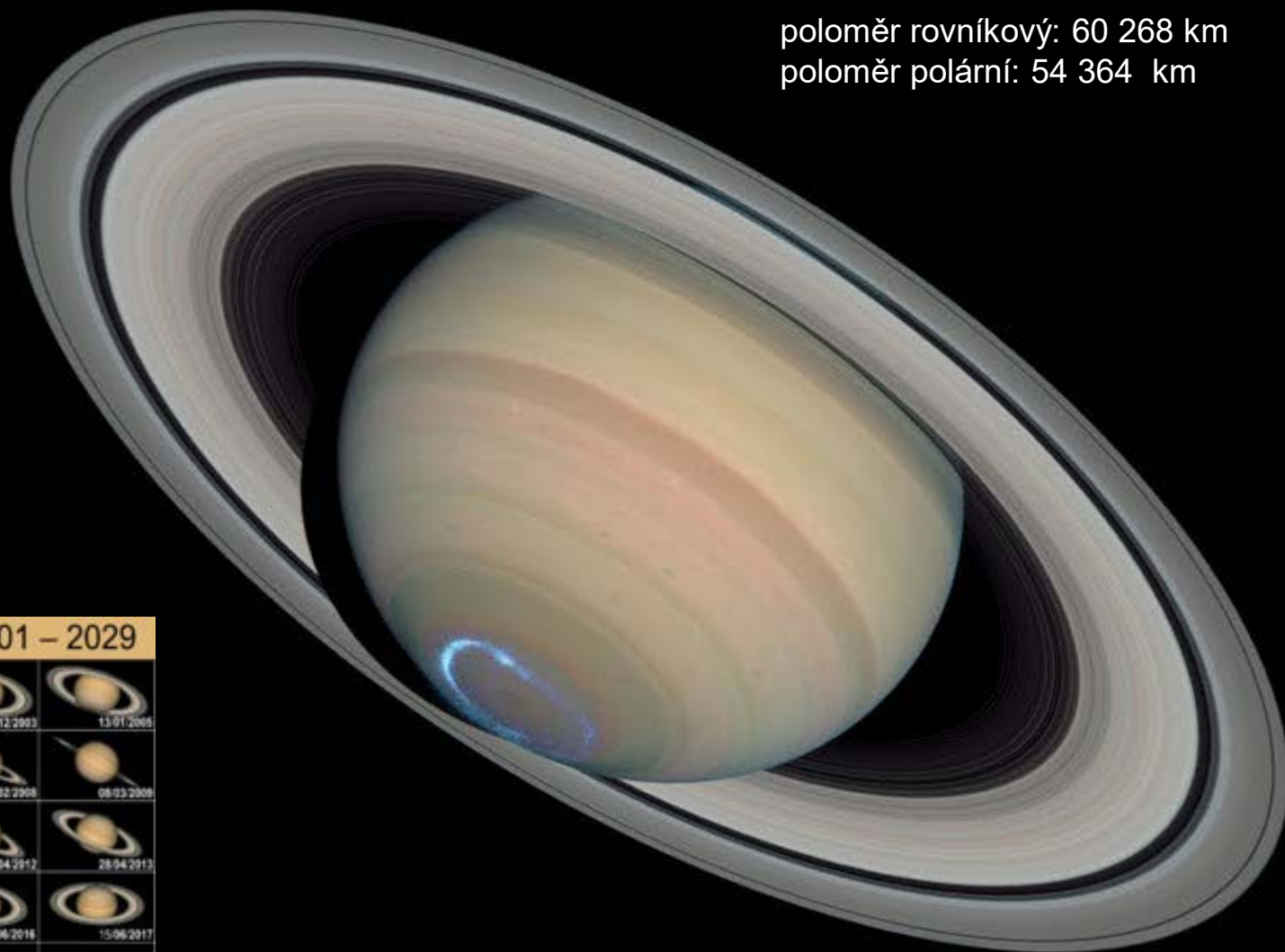
Atmosféra - není tolik výrazných detailů jako u Jupiteru (ale proudění plynů mnohem rychlejší než na Jupiteru až 500 m/s!).

prstence – shluk částic - mikroskopická prachová zrnka až bloky skal pozorovatelné jako soustava prstenců s mezerami, bližší pohled – připomíná gramofonovou desku, ale! - výstředné prstence, loukotě, uzlíky... - sklon prstenců se mění - 2 x za dobu oběhu (30 let) zmizí

Okolí - soustava družic (oficiálně v r. 2020 82); největší - Titan s relativně hustou atmosférou (srovnatelnou s hustotou zemské).

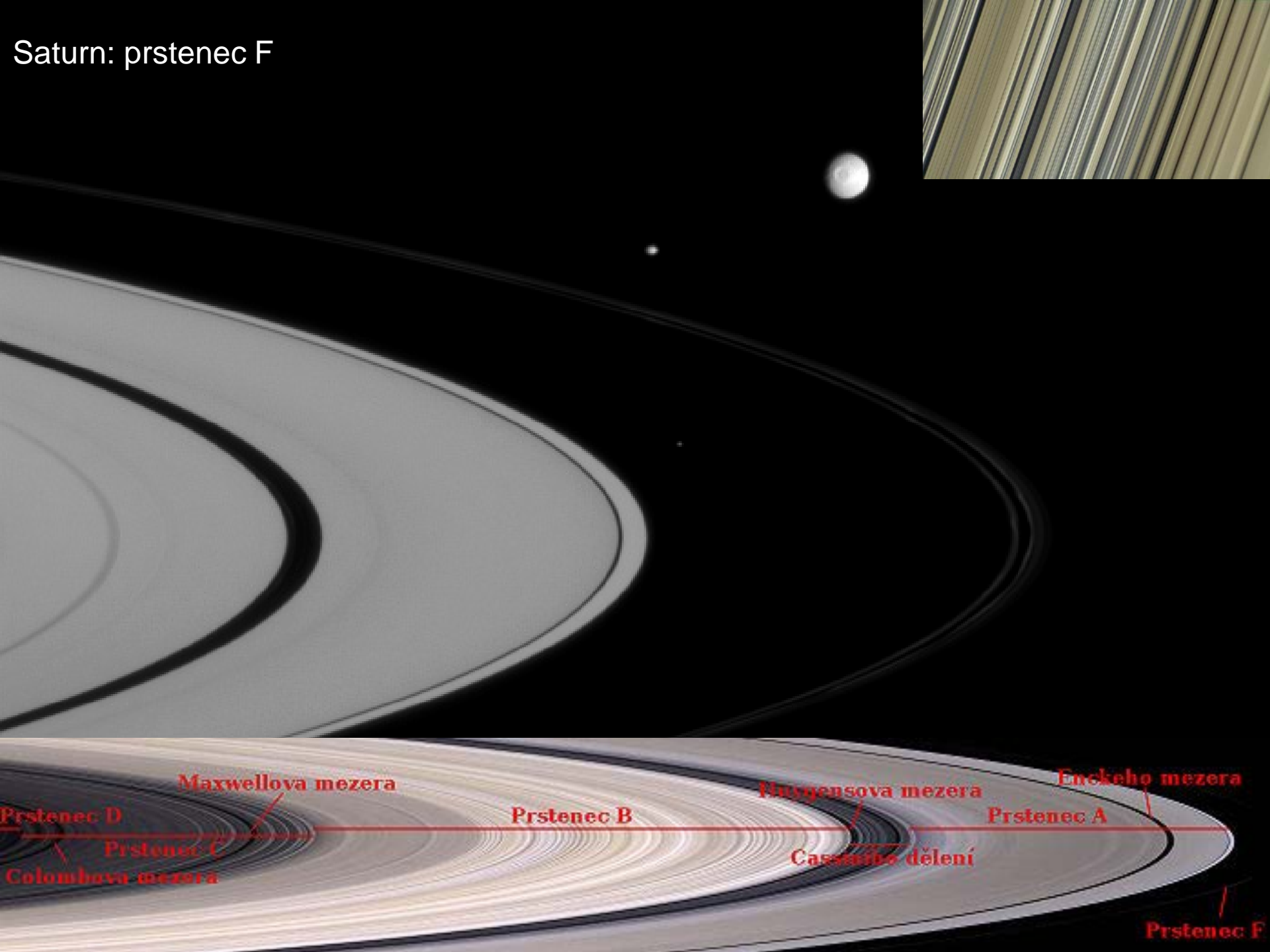


poloměr rovníkový: 60 268 km  
poloměr polární: 54 364 km

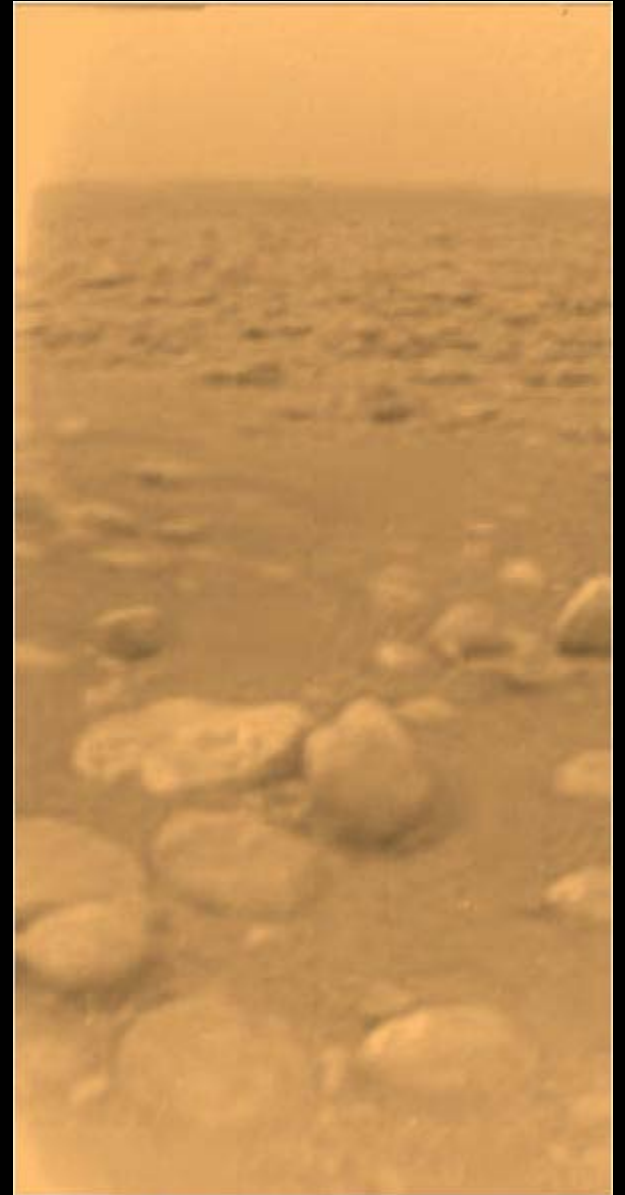
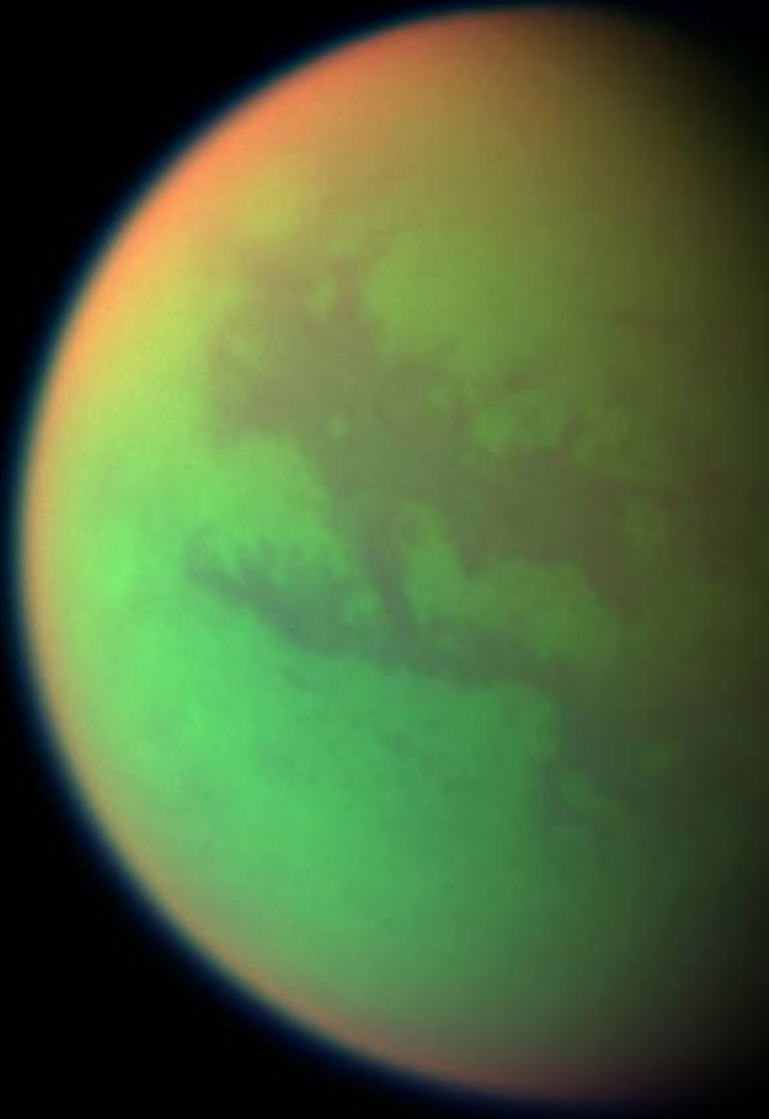




# Saturn: prstenec F

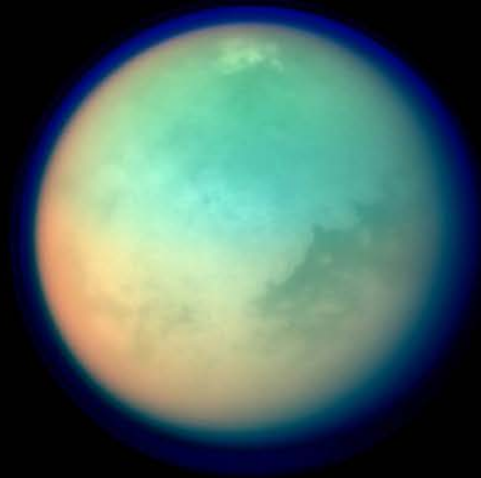


Titan





GANYMED



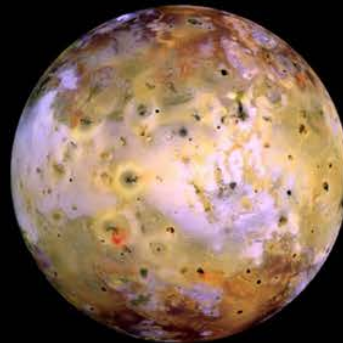
TITAN



MERKUR



CALLISTO



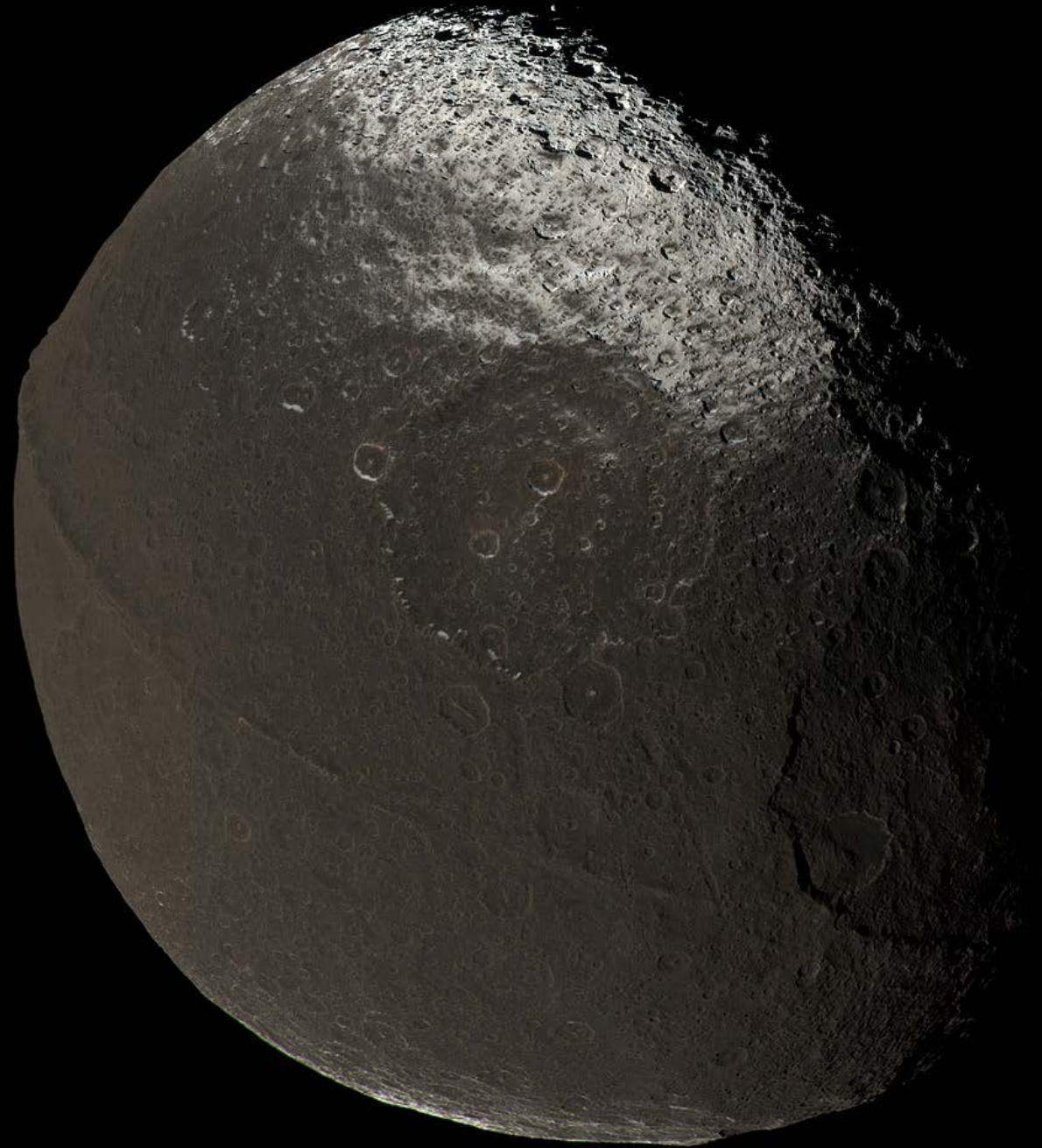
IÓ



MĚSÍC



Japetus



Tethys



# Uran

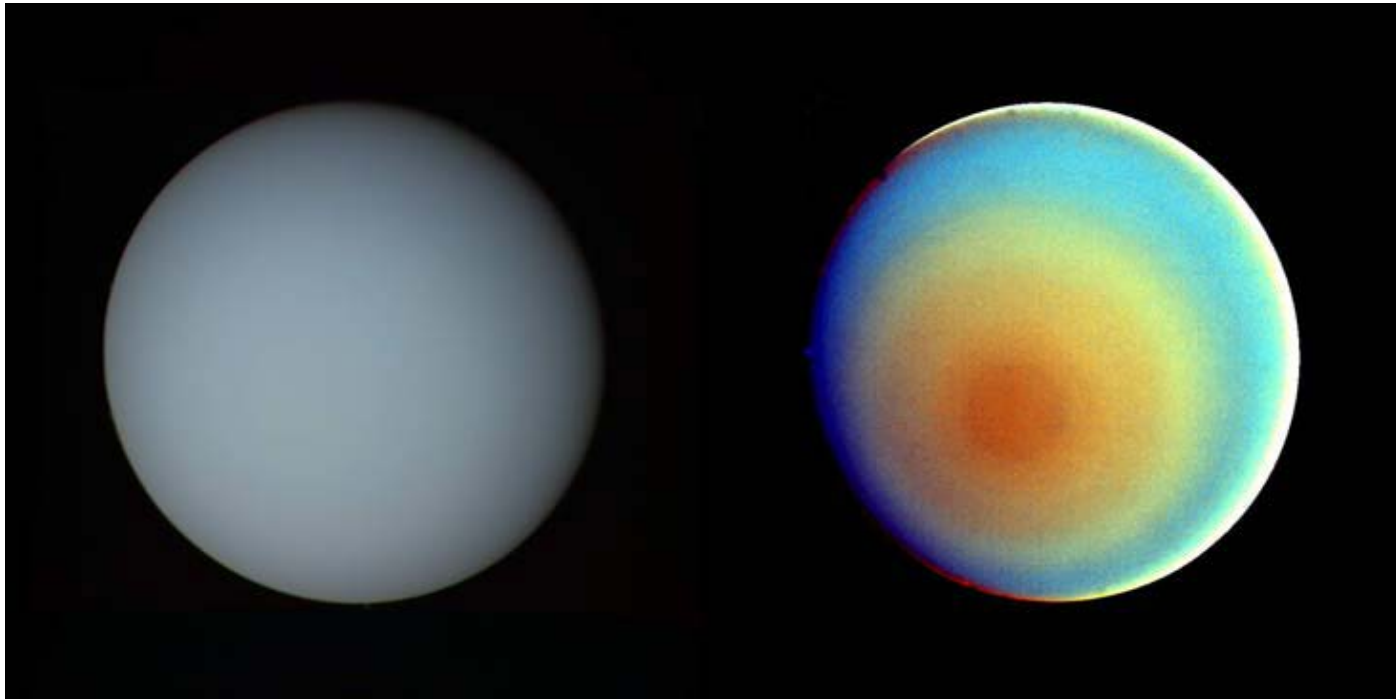
Objev - 13. března 1781 William Herschel

Průzkum – jediná sonda – Voyager 2; HST

Stavba – hlavně, ale více kyslíku, dusíku a uhlíku než u Jupiteru a Saturnu; modrý nádech – plynný metan (pohlcuje červené světlo)

Rotace – rotační osa téměř v rovině oběhu => oblaka rotují rychleji než jádro planety; rotace diferenciální - až 720 km/h

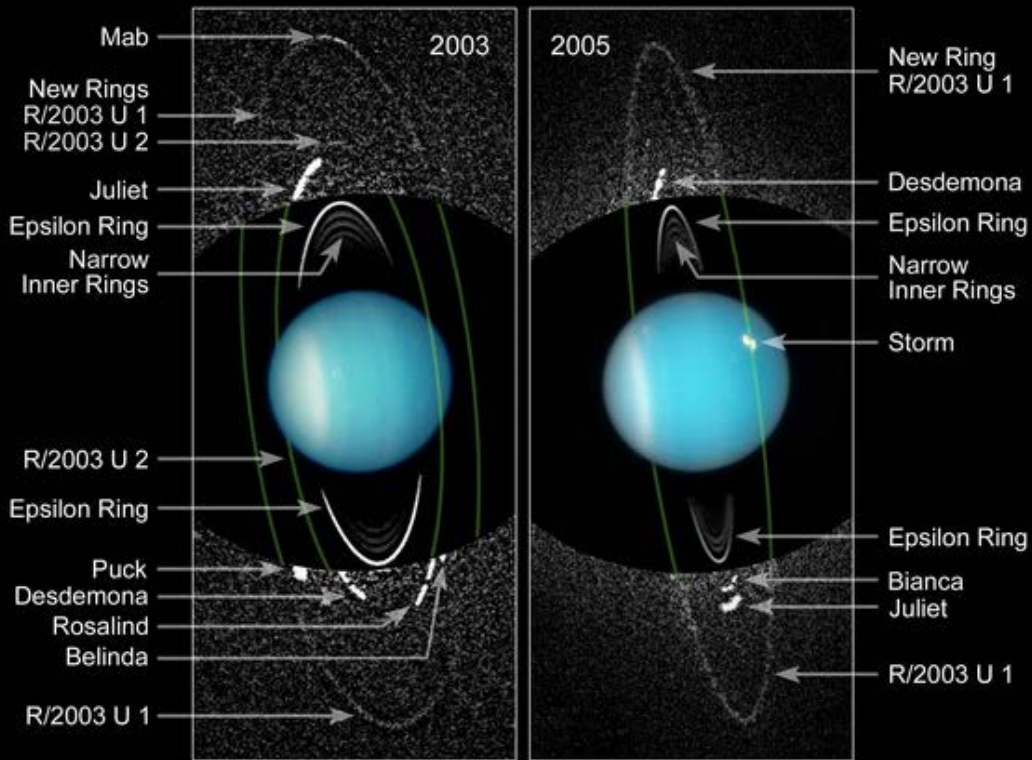
Okolí - prstence (objev 10. 3. 1977) při pozorování zákrytu jedné hvězdy Uranem  
- 27 družic (2020) - např. velmi zajímavá Miranda



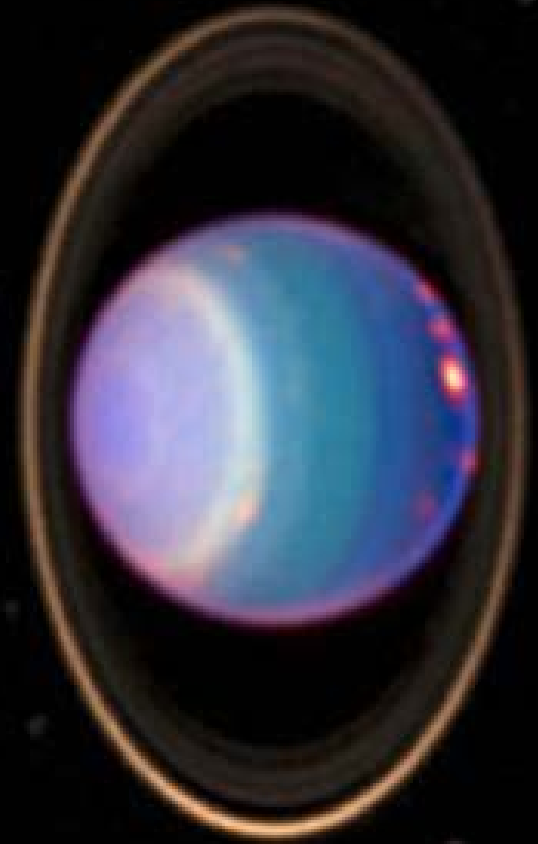


poloměr: 25 559 km

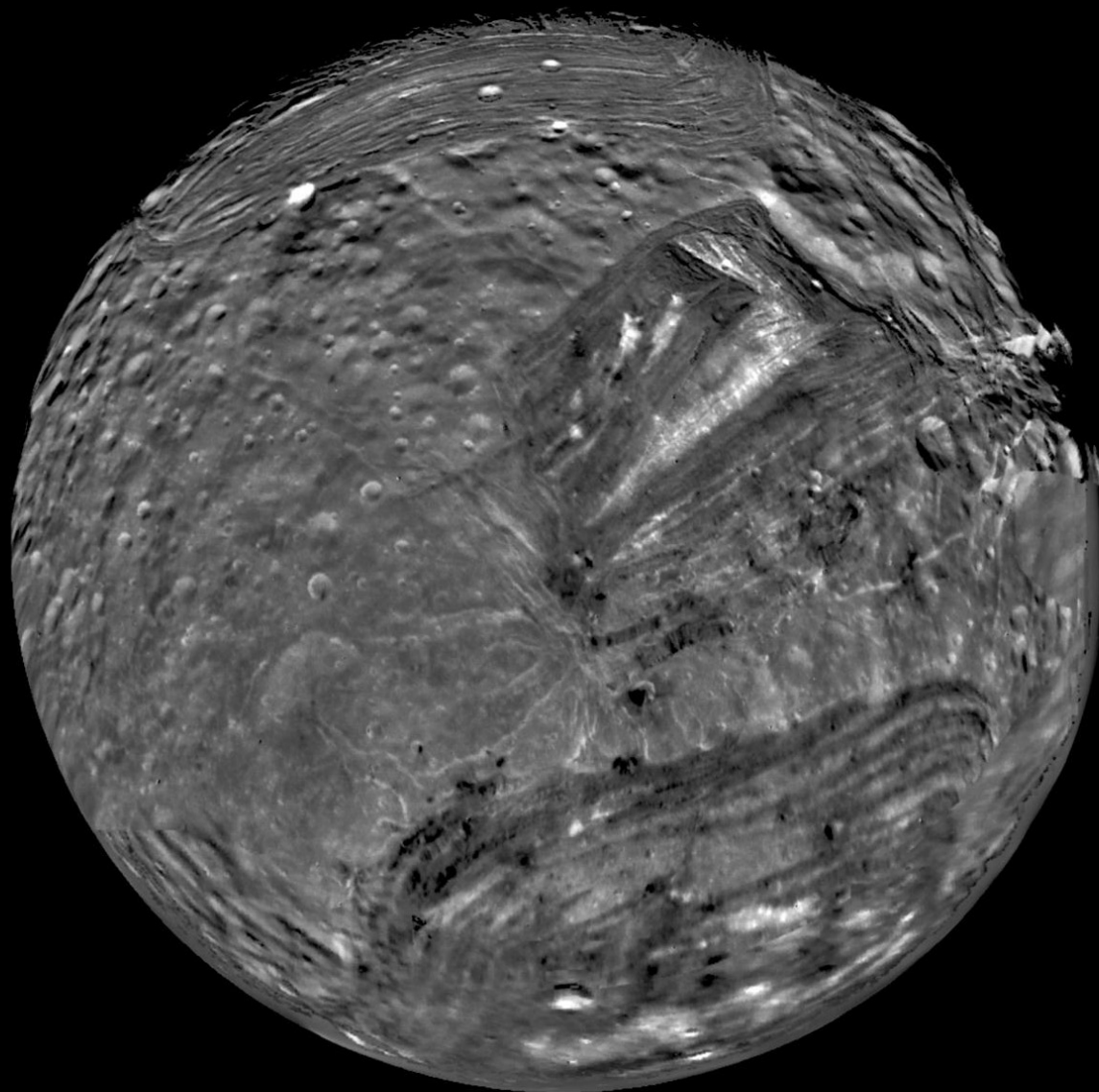
### Uranus ■ HST ACS/HRC



NASA, ESA, and M. Showalter (SETI Institute)



Miranda



# Neptun

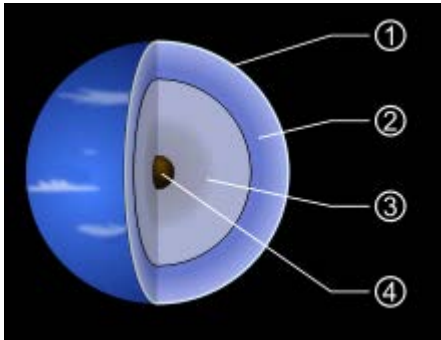
Objev – 23. 9. 1846 - Johann Galle a Louis d'Arrest - na základě matematických výpočtů gravitačních odchylek okolních těles

Průzkum – jediná sonda Voyager 2, HST

Atmosféra – hustá, nejvíce se rozptylují modré paprsky (přítomnost metanu, červené se silně pohlcují => modrá planeta; nápadná oblaka, cyklony a anticyklony – obdoba červené skvrny na Jupiteru

Doba rotace – v r. 2011 kratší než z Voyageru

Doba oběhu – 165 let

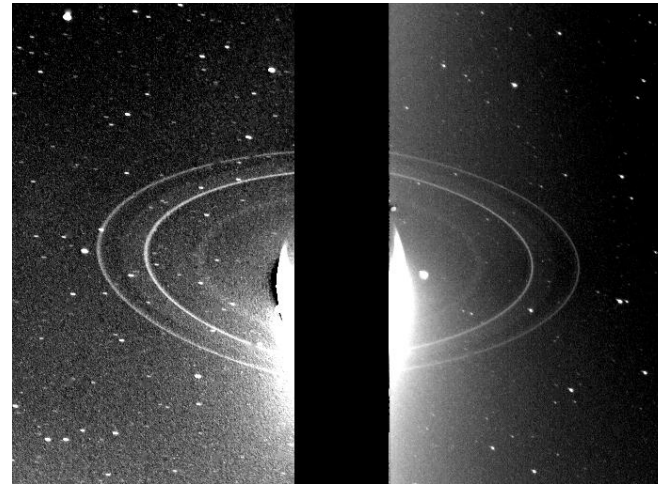
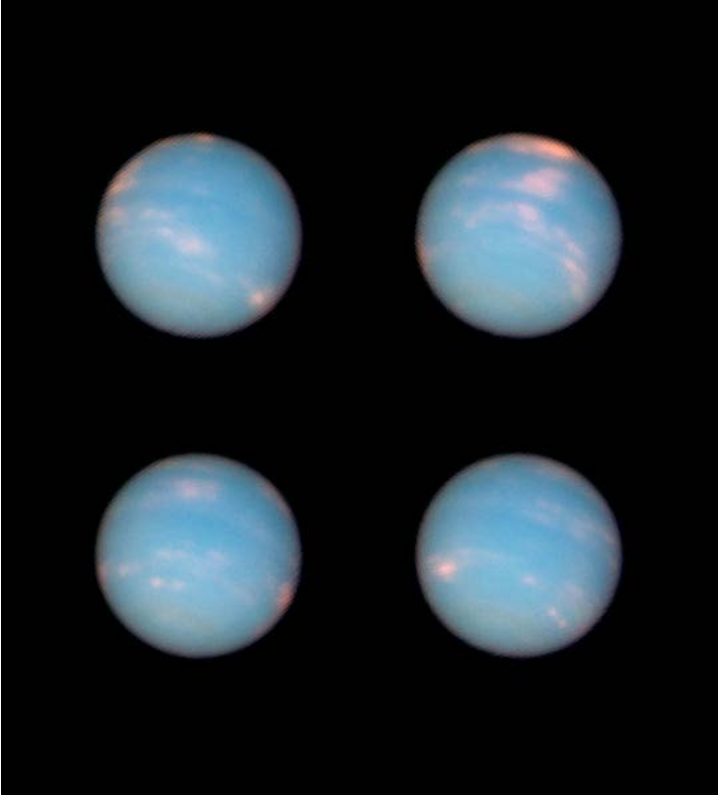


- 1 – horní vrstva atmosféry, vrcholky mraků
- 2 – atmosféra složená z H, He a metanu
- 3 – plášť tvořený  $H_2O$ , čpavkem a ledem metanu
- 4 – kamenoledové jádro



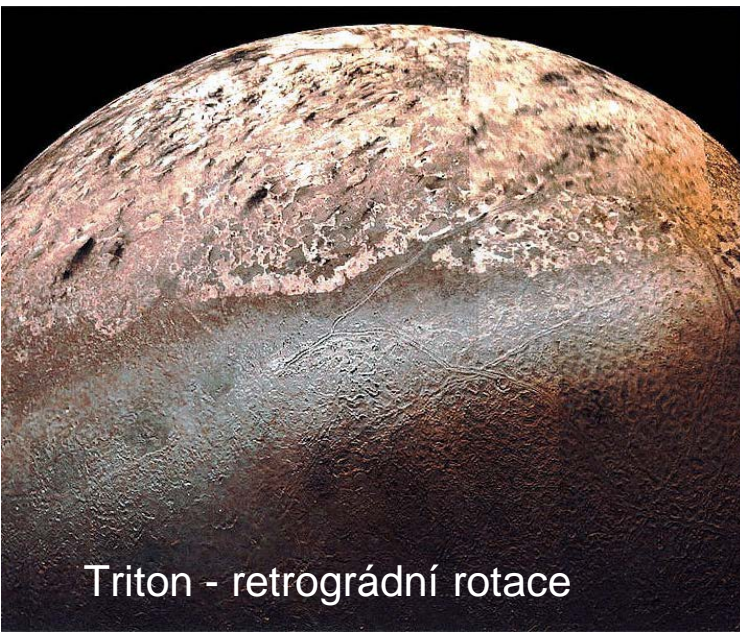


HST – snímky k výročí dokončení 1. oběhu od objevu (2011)

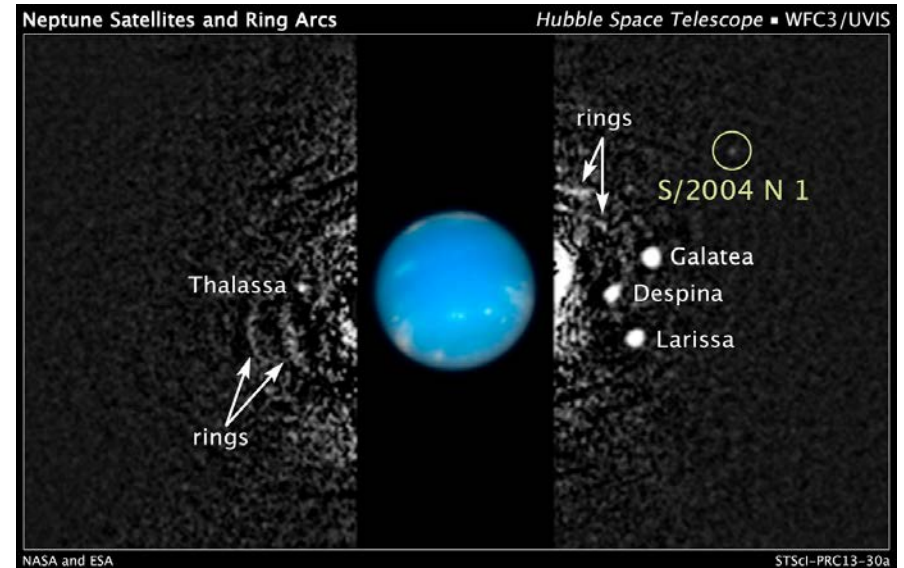


prstence Neptunu

14 měsíců (2020) – největší Triton



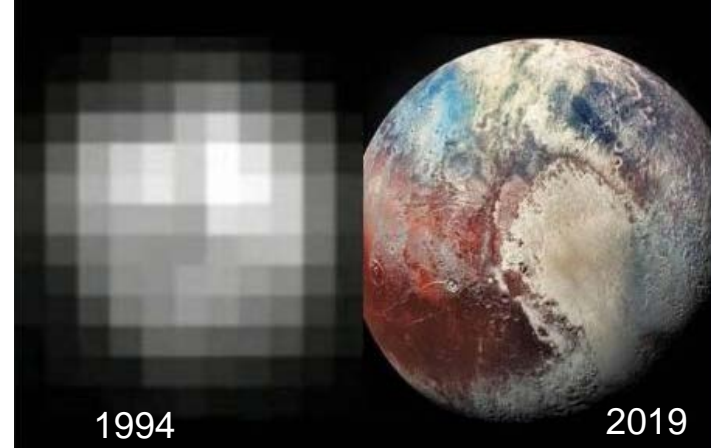
Triton - retrográdní rotace



# Pluto

**trpasličí planeta!**

průzkum – HST, sonda New Horizons  
(start 2006, průlet 2015)



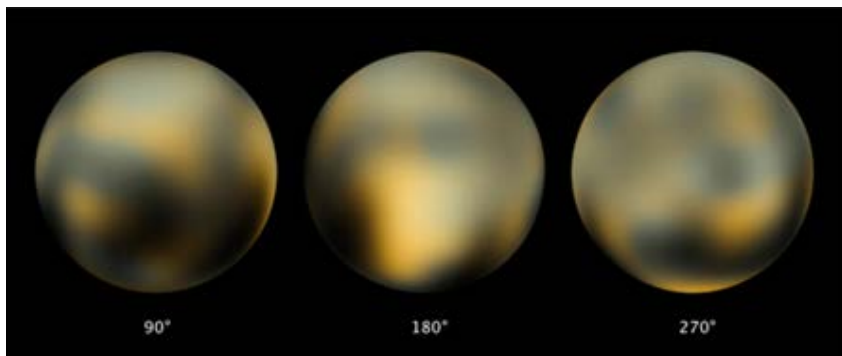
rozměry, stavbou, trajektorií i vznikem patří mezi tělesa tzv. *Kuiperova pásu*

trajektorie – velmi výstředná => opakované zahřívání a ochlazování povrchu  
(podobně jako u komet) => poblíž přísluní vzniká plynný obal sublimací zmrzlých  
plynů – N, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (metan) – dále od Slunce obal mizí

družice – Charon (trpasličí dvojplaneta Pluto-Charon), Nix, Hydra, Styx, Kerberos

povrch – velmi chladný 43 K (-230 °C)

složení – zejména vodní i jiný led

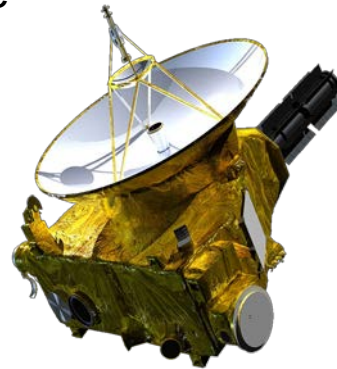




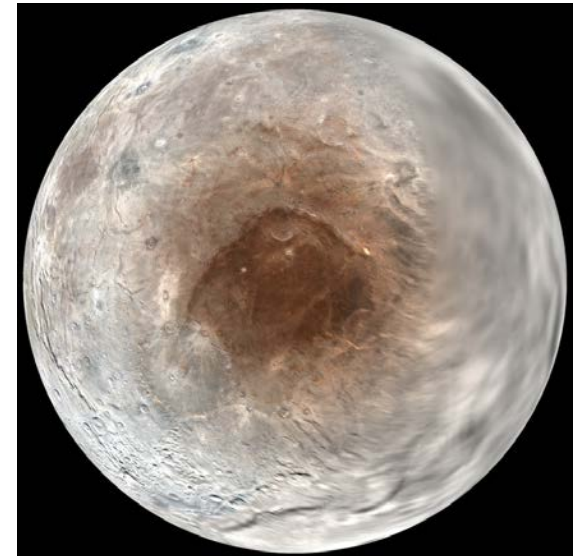
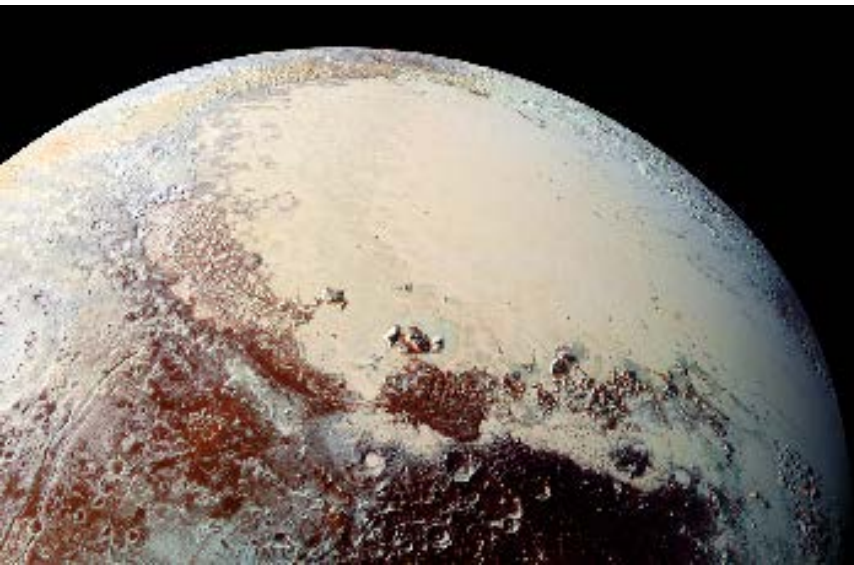
## New Horizons

- vypuštěna v r. 2006, průlet kolem Pluta v r. 2015
- spousta nových snímků a objevů
- 1.1.2019 průlet kolem planetky 486958 Arrokoth (2014 MU<sub>69</sub>; Ultima Thule) (v Kuiperově pásu)
- 2020 výběr cílů pro pokračování mise

Tenzing Montes, Pluto



Pluto



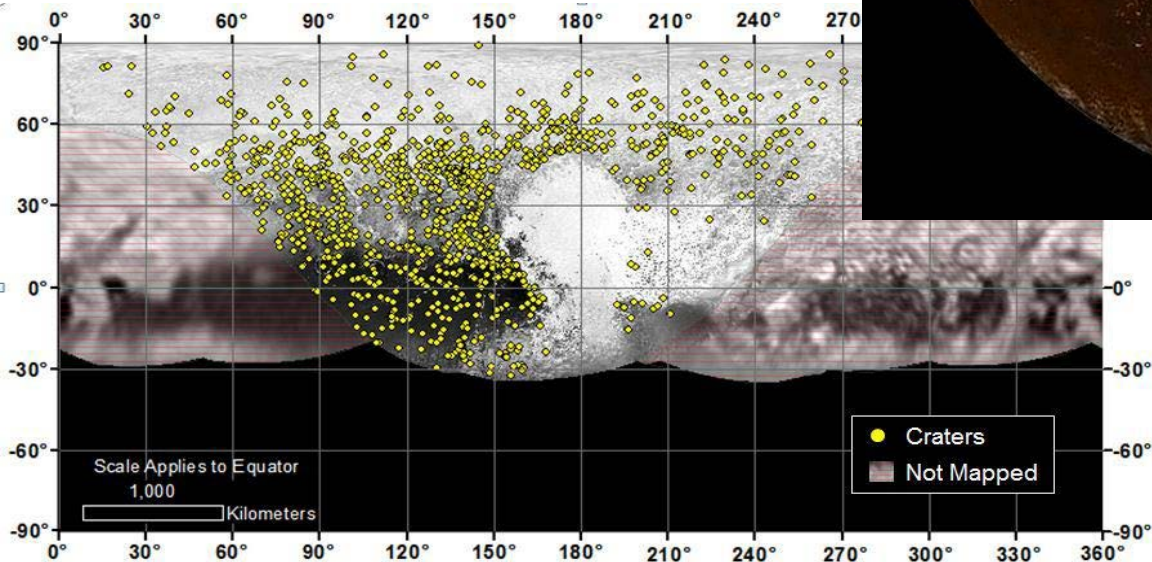
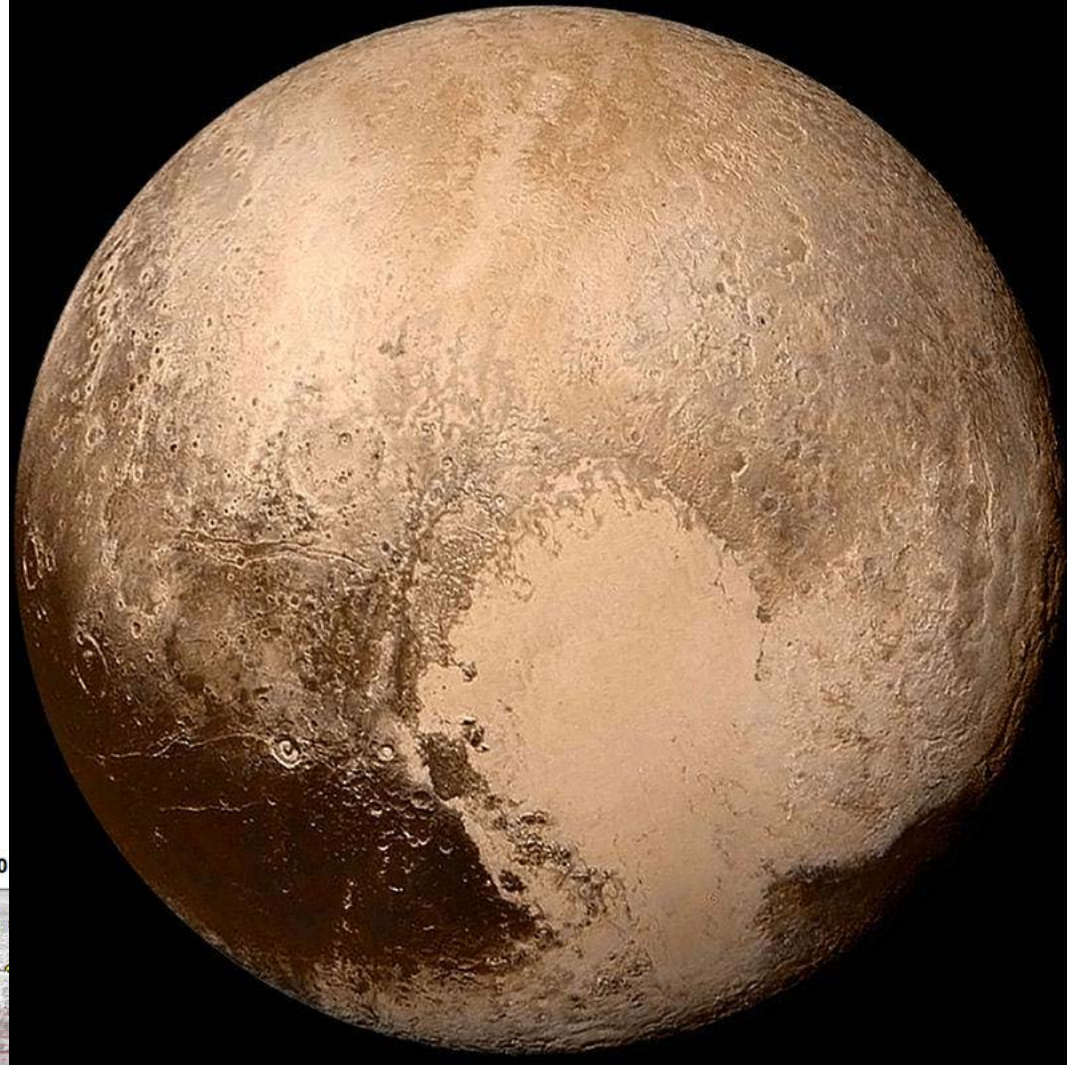
Charon

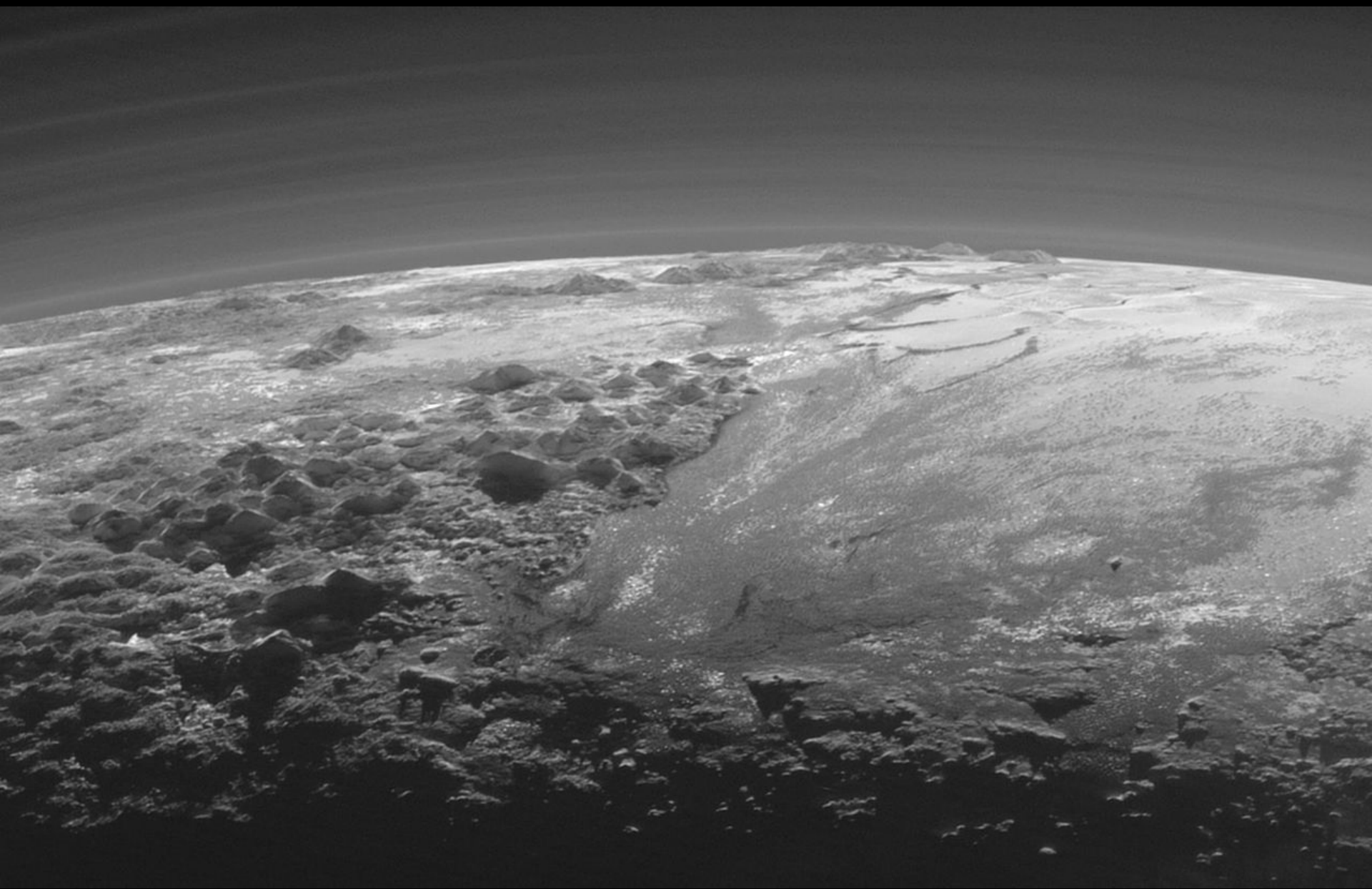


# Pluto

Nové objevy:

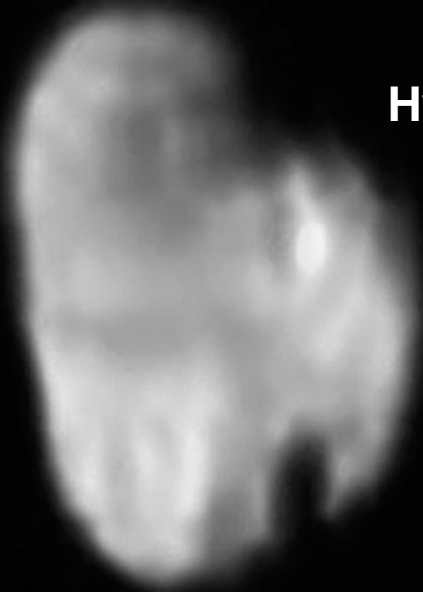
- až 3000 m vysoké hory, pravděpodobně z vodního ledu
- oblasti bez kráterů => zřejmě mladý povrch
- velmi řídká atmosféra, ale dosahuje 130 km od povrchu
- velmi jasné měsíce Nix a Hydra



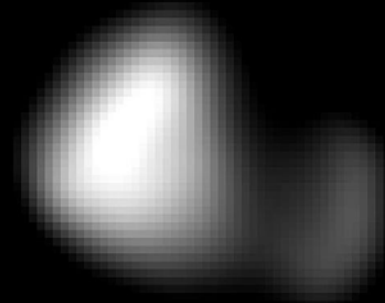




**Hydra**



**Kerberos**



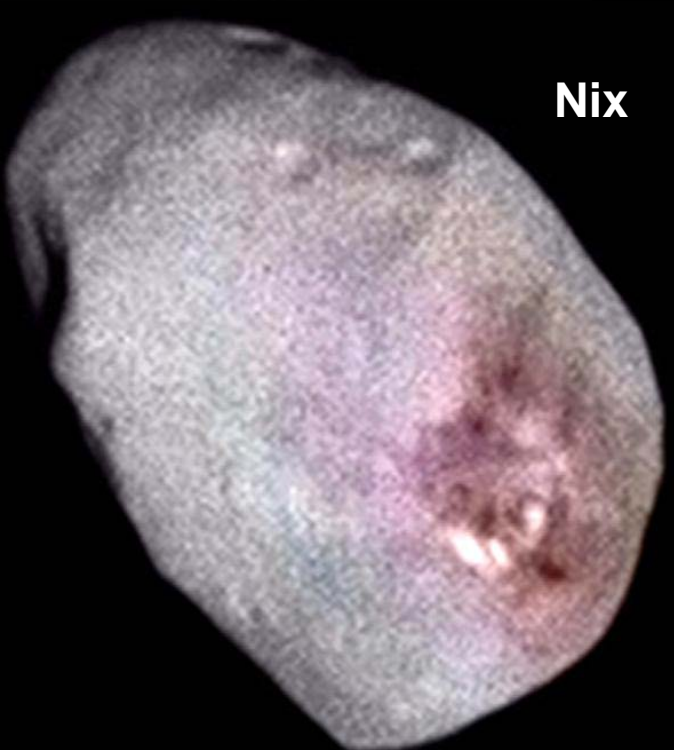
**Styx**



**Charon**



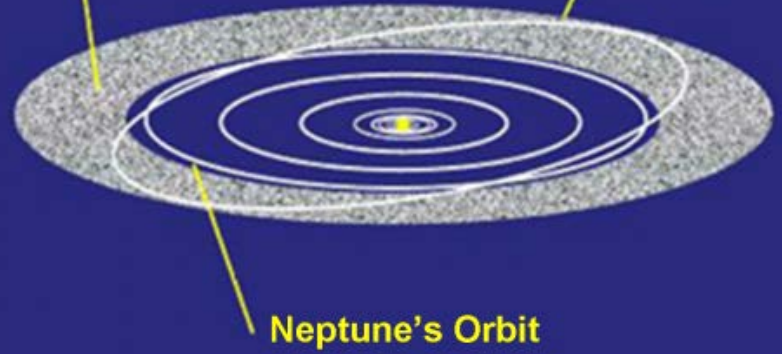
**Nix**





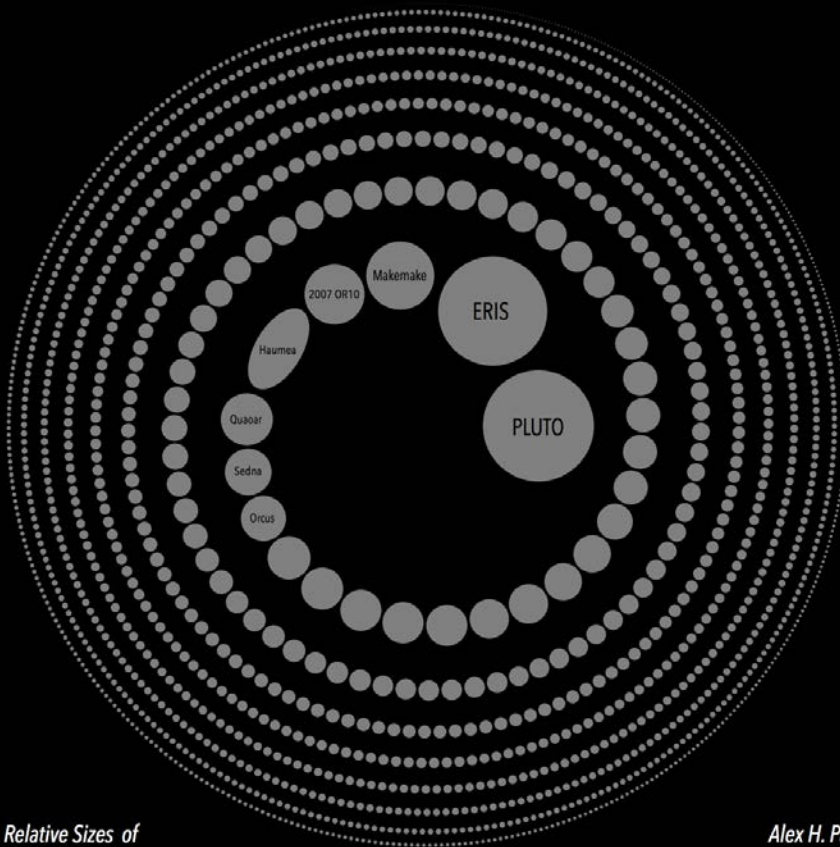
Trans-Neptunian  
Asteroid Belt

Pluto's Orbit



Neptune's Orbit

Credit: Johns Hopkins University



The Relative Sizes of  
Known Trans-Neptunian Objects

Alex H. Parker  
@Alex\_Parker