

Sluneční soustava



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),

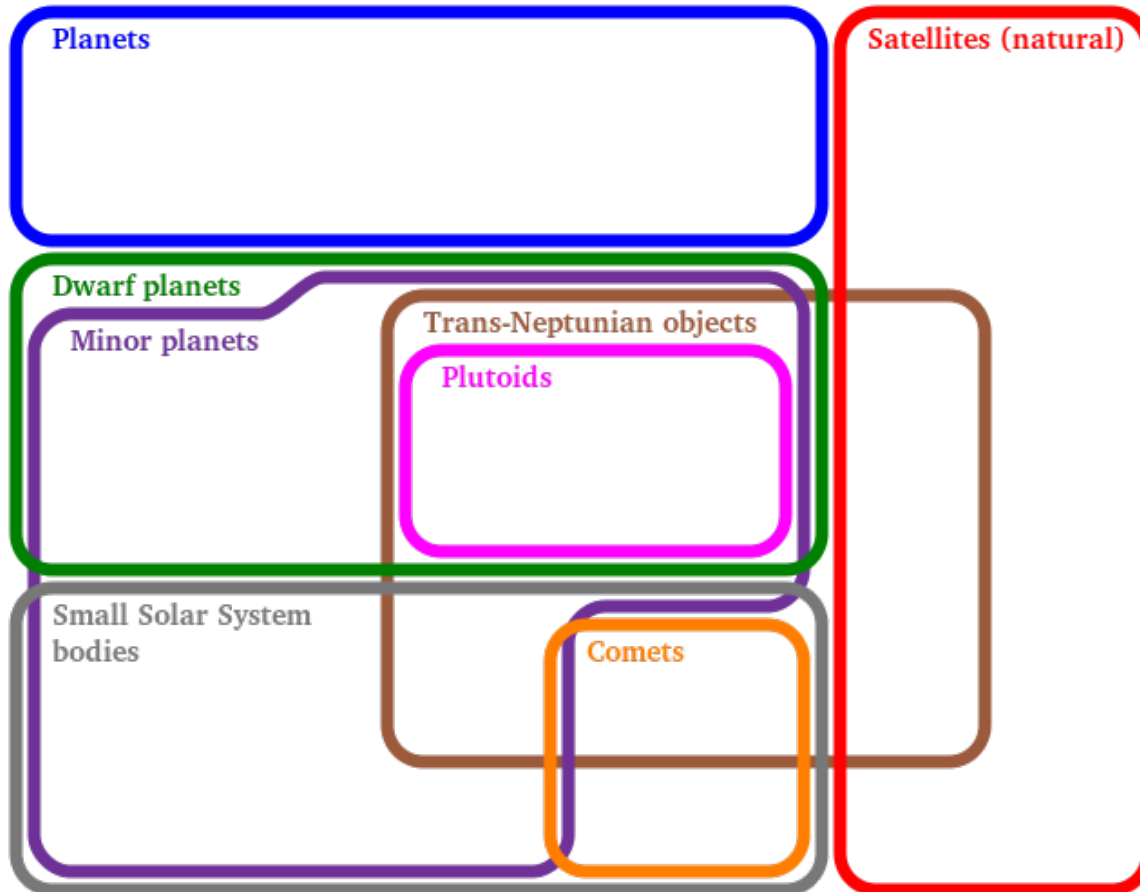
dnes:

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 OR₁₀), 2002 MS₄

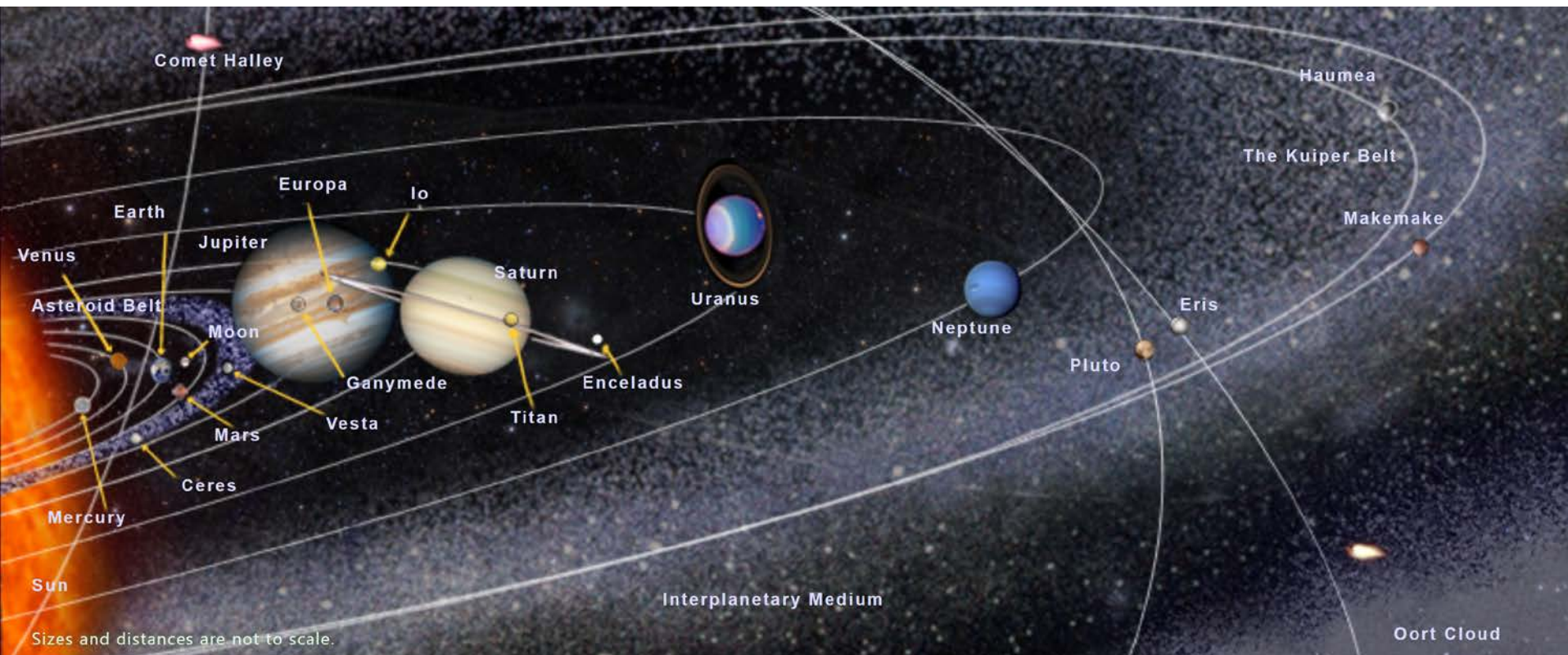
SSS (Statistika Sluneční soustavy) – stav k 1. 9. 2021

- hvězda: 1
- planety: 8
- trpasličí planety: 5 (5 pojmenovaných)
- asteroidy: 1 112 918
- objekty vnější části Sl. Soust. (TNO): 3 893
- komety: 6 996
- mezihvězdné objekty: 2

měsíce

- planet: 208
- trpasličích planet: 9
- asteroidů: 323
- 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?

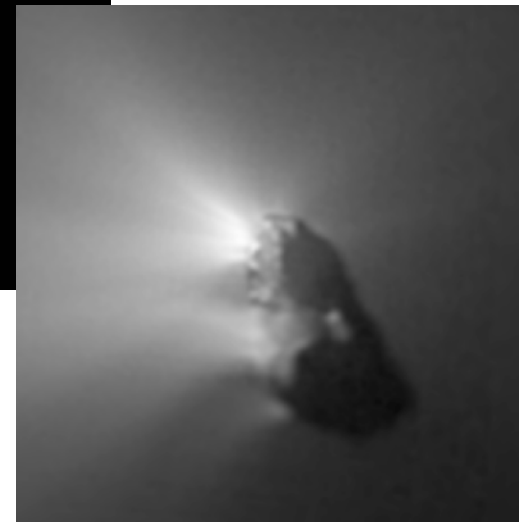
protože si přinášejí mnoho informací z doby formování Sluneční soustavy



Ida a Daktyl

Eros

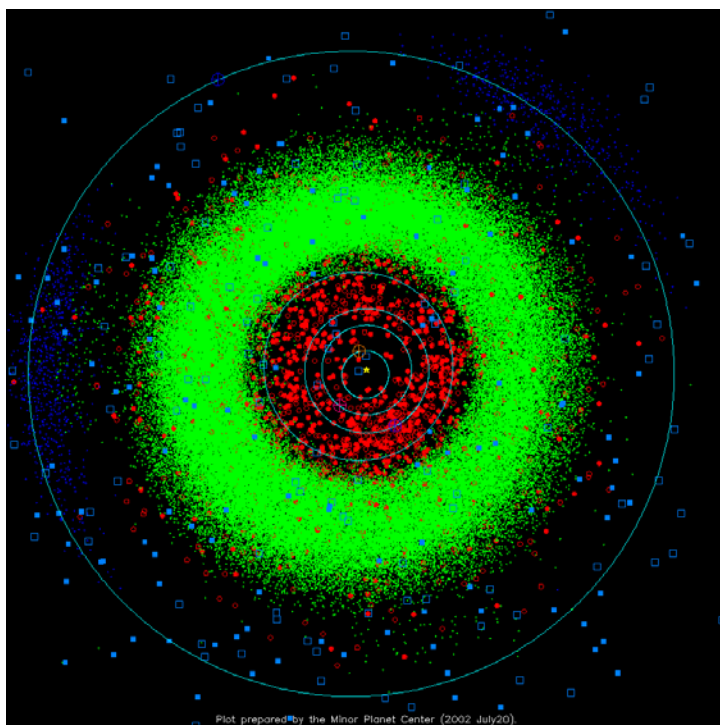
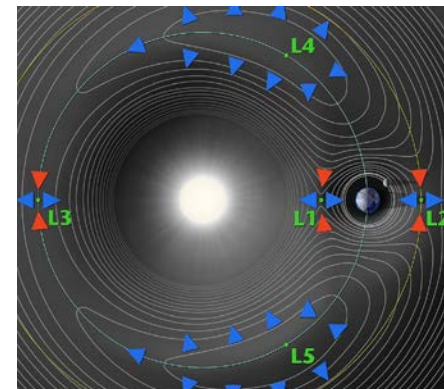
jádro
Halleyovy
komety



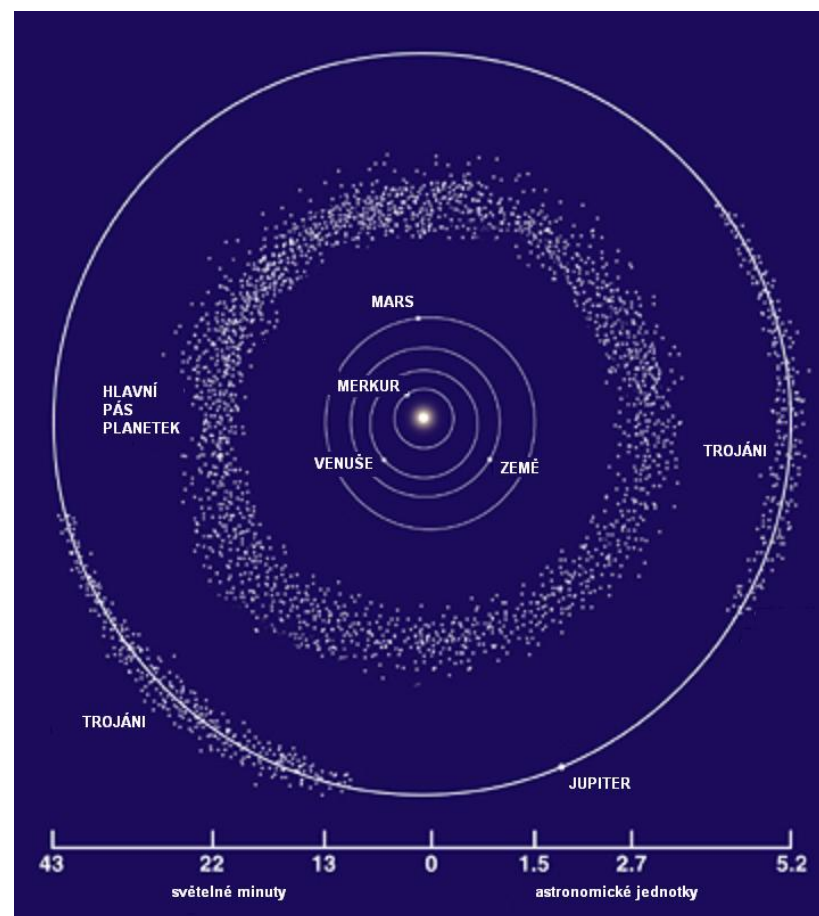
Himeros
12S-45N
260-298W

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



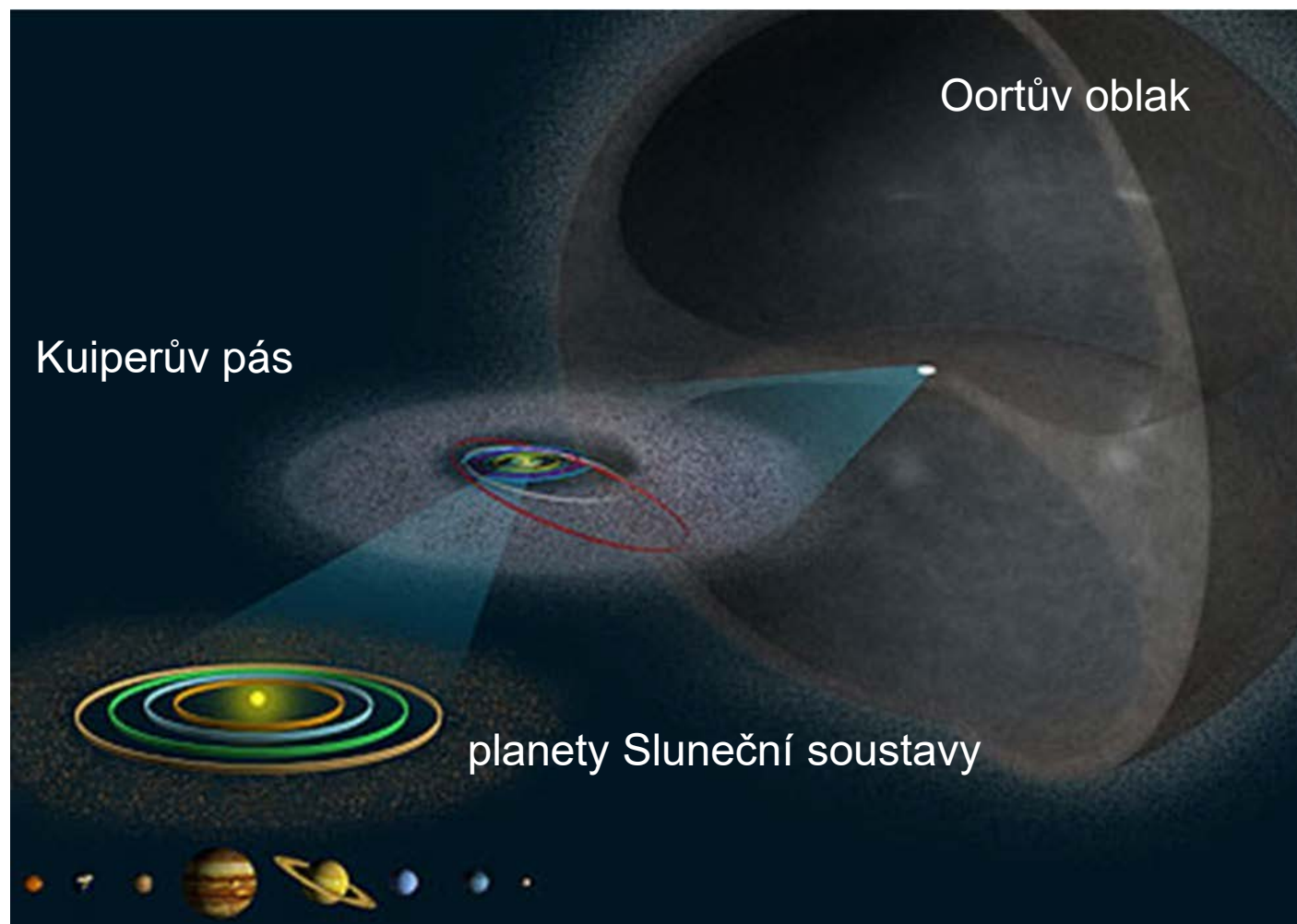
20. 7. 2002 zeleně: planetky, červeně: nebezpečné planetky (do 1,3 au), modré čtverečky: komety, modré body: Trojané



Kuiperův pás

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

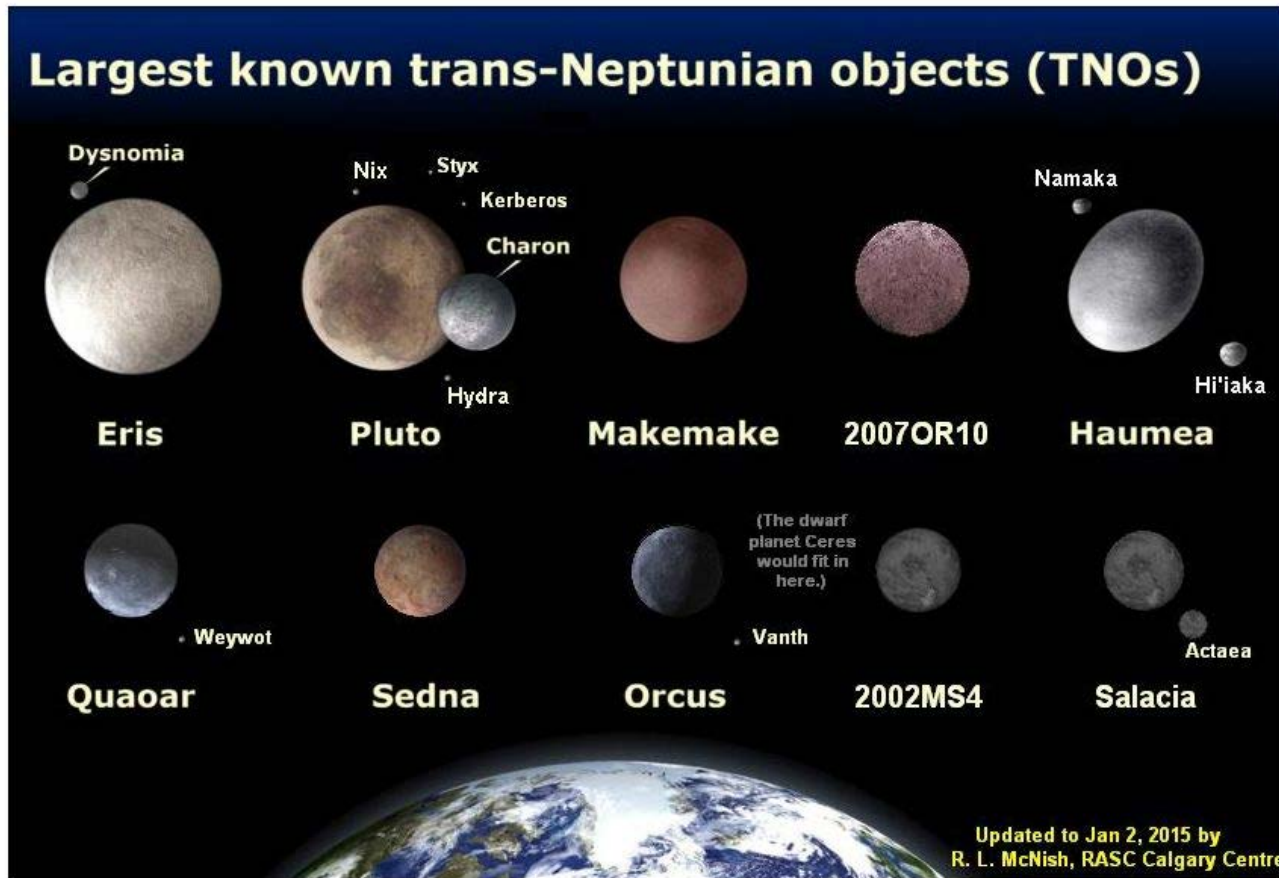
Oortův oblak - planetka Sedna, zdroj dlouhoperiodických komet



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

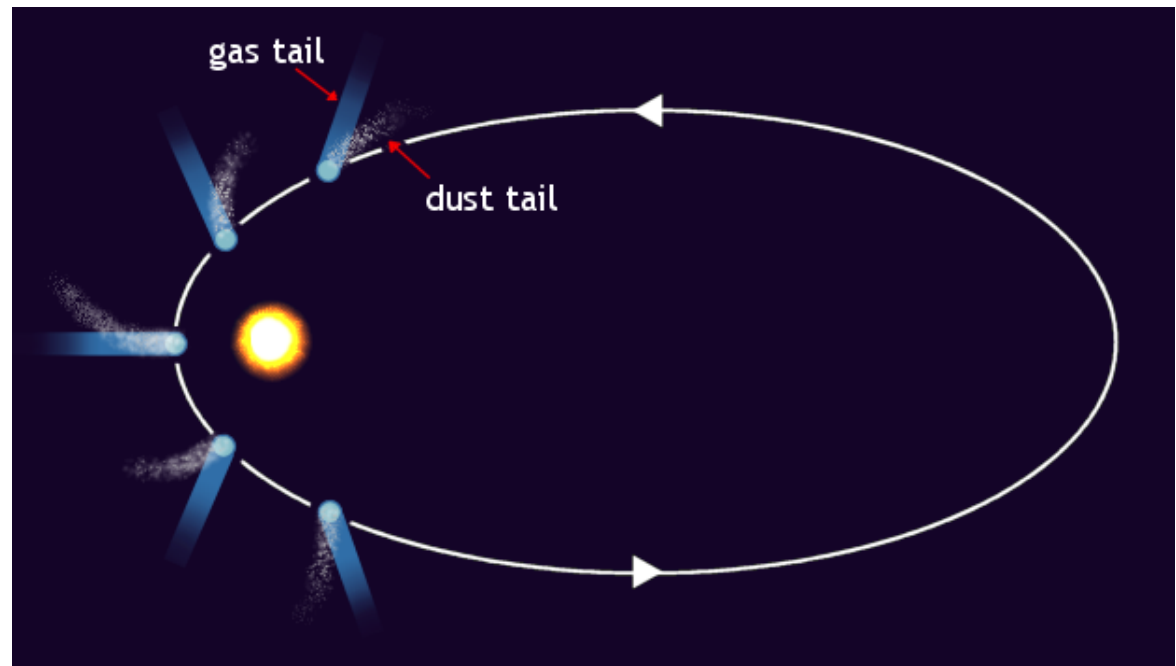
Transneptunické těleso (TNO) - objekt v naší Sluneční soustavě, za drahou Neptunu, vzdálenost 30 až 50 au od Slunce, průměr nad 100 km (odhadem více než 70 tisíc těles). Prozatím považováno za planetku (viz katalog planetek) včetně Pluta i s Charonem. Některé mají průvodce.

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 (1.9. 2021)
- 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)



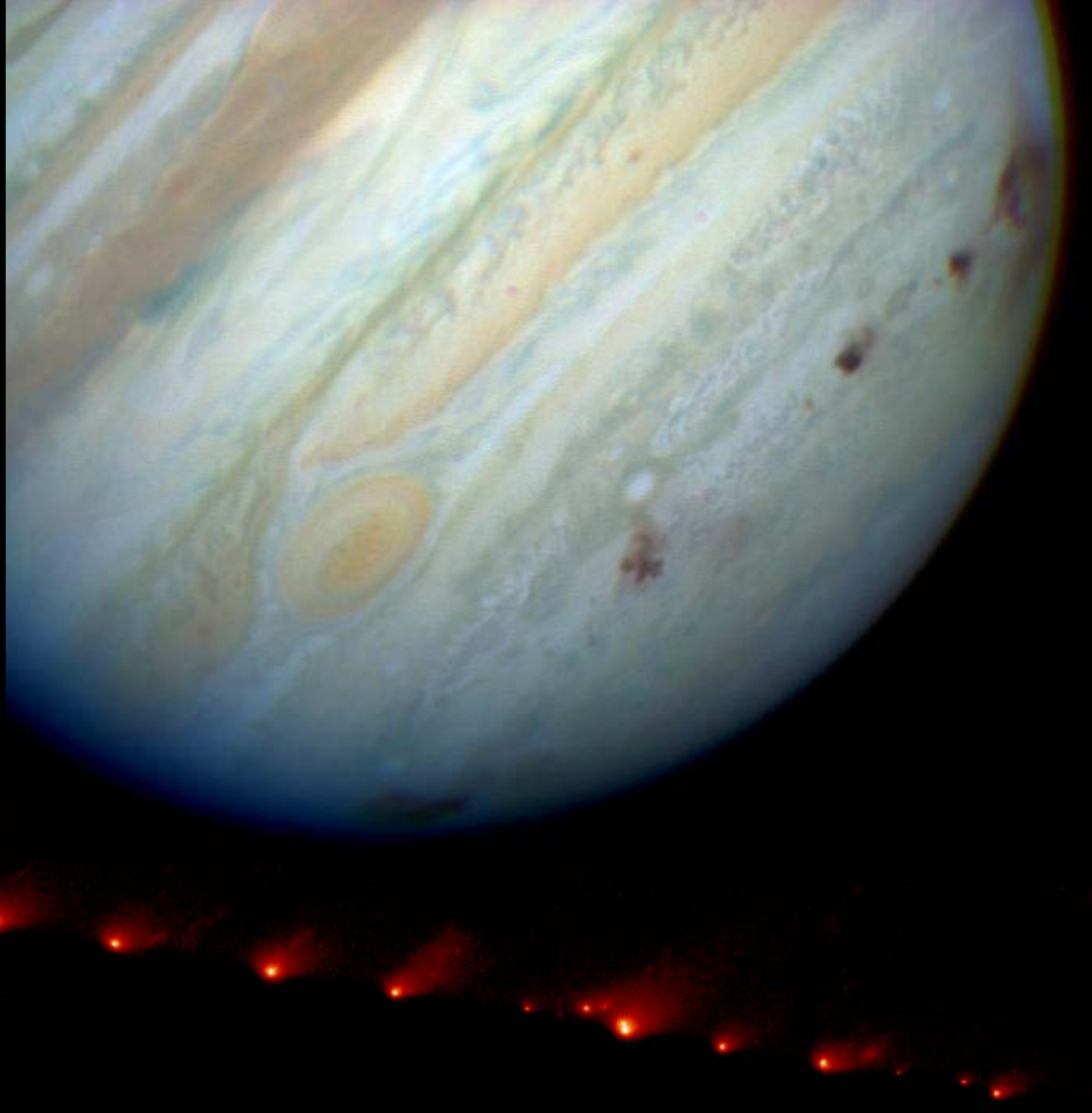
Neowise (C/2020 F3)



Petr Horálek
PHOTOGRAPHY
Slovinský

Kometa Shoemaker-Levy

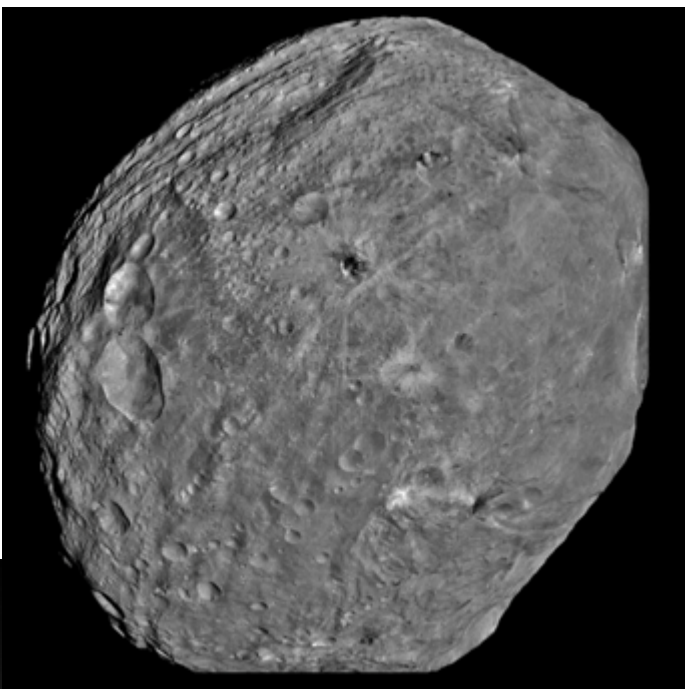
- V roce 1994 se srazila s Jupiterem
- První přímo pozorovaná srážka dvou těles
- Několik úlomků v několika dnech
- Tmavé skvrny asi rok
- 6 mil. tun TNT



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



před dopadem

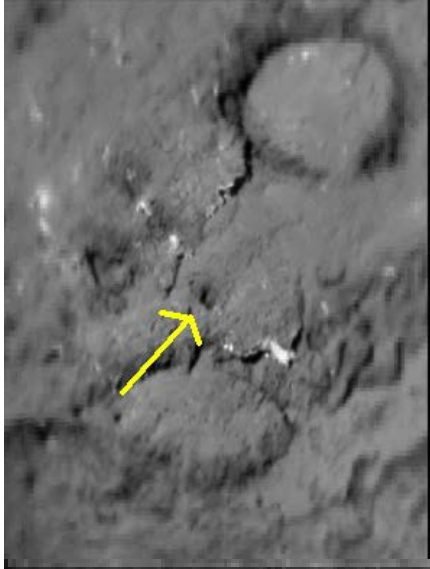


Vesta – sonda
Dawn (2011)

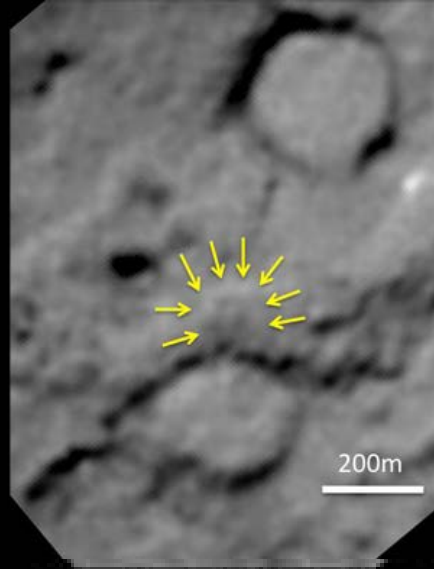


67 s po dopadu

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



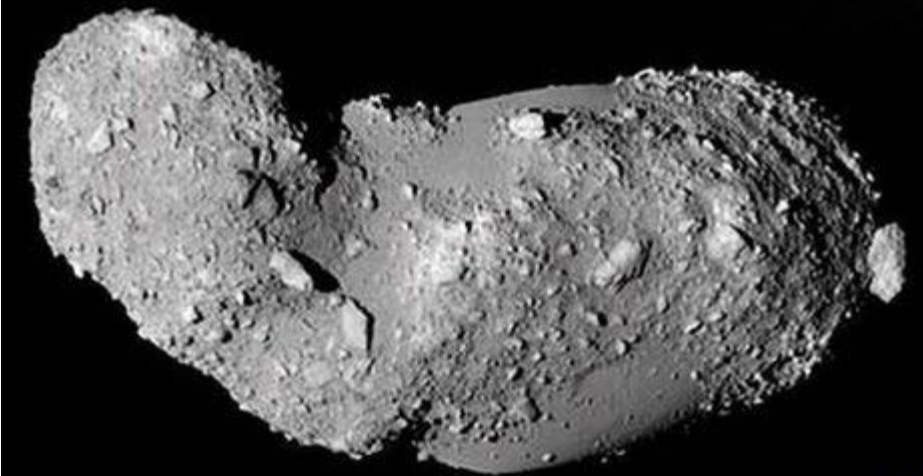
Deep Impact 2005



Stardust-NEXT 2011



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



JAXA

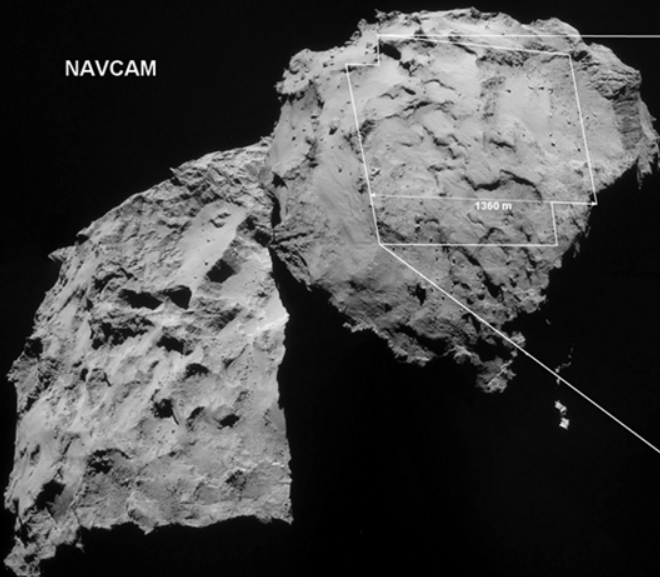
Wild 2

67/P Churyumov-Gerasimenko,

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

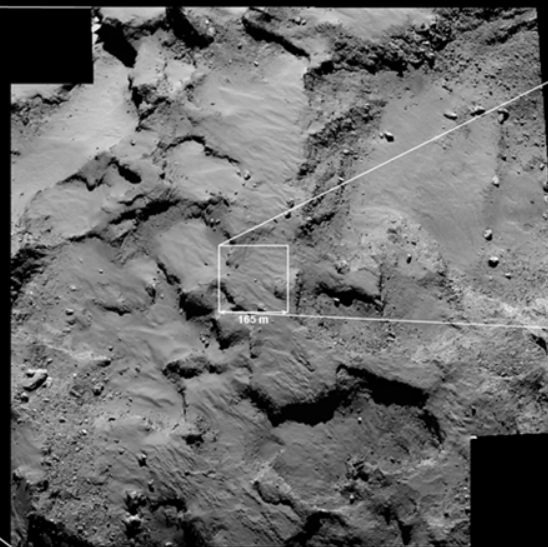


NAVCAM

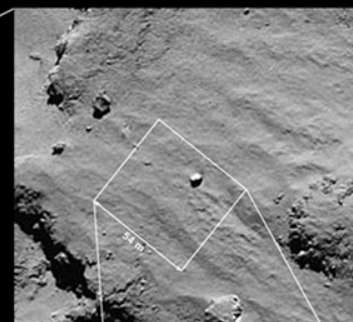


1360 m

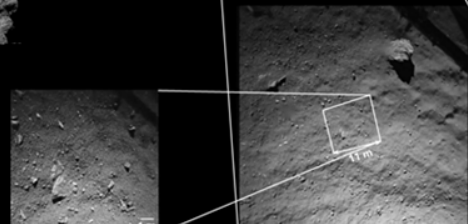
OSIRIS NAC



185 m



58 m



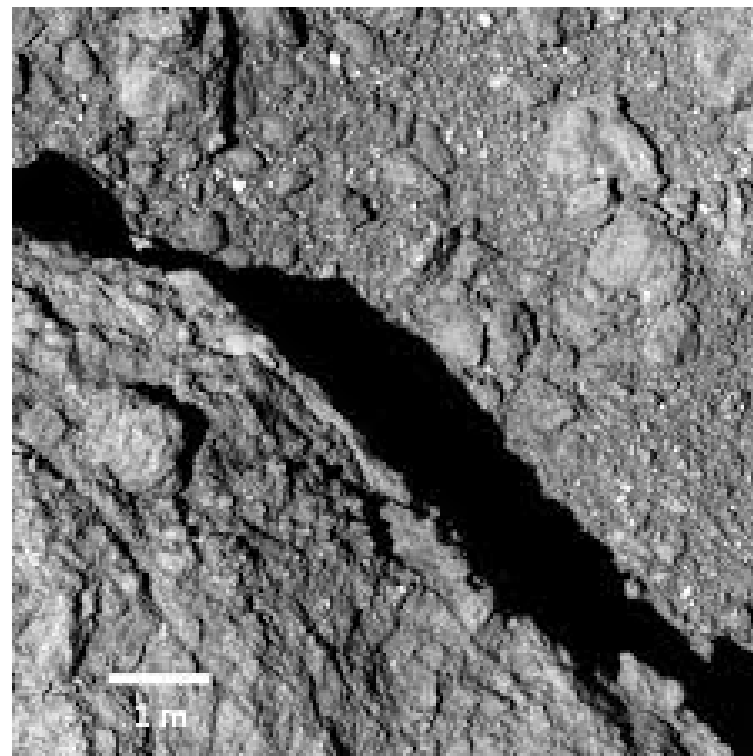
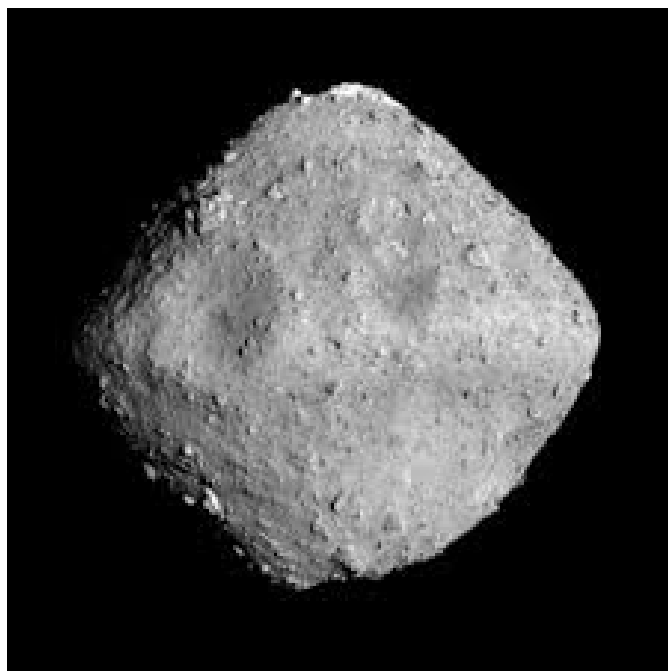
41 m

OSIRIS NAC

Hayabusa 2

setkání s planetkou Ryugu, odběr vzorků, návrat na Zemi

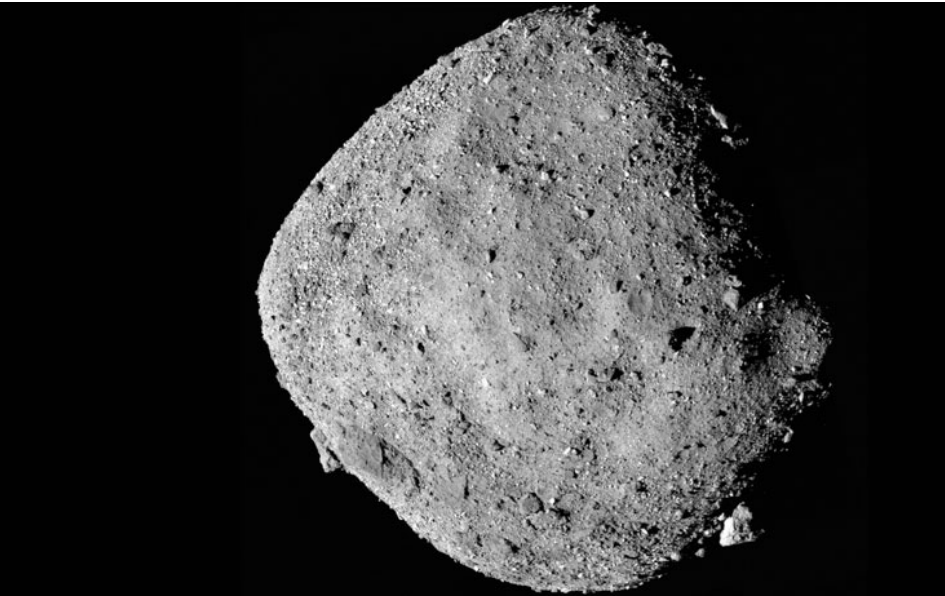
Kapsle se vzorky přistála 6.12.2020



OSIRIS-REx

start 8. 9. 2016

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



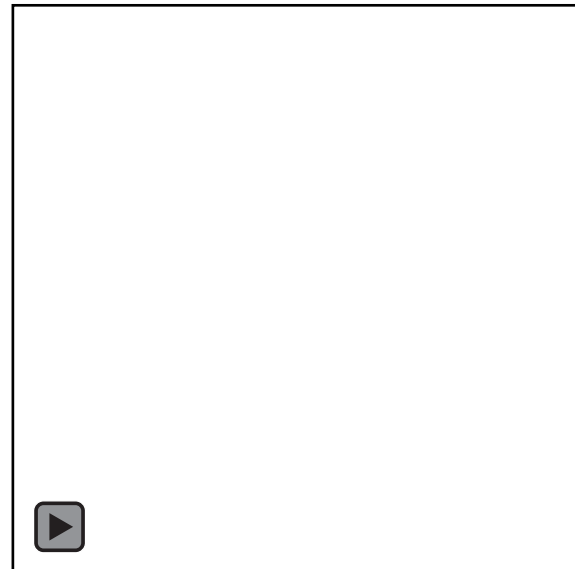
Asteroid Bennu ze sondy OSIRIS-REx
vzdálenost 330 km (29. 10. 2018)



Plán mise:

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

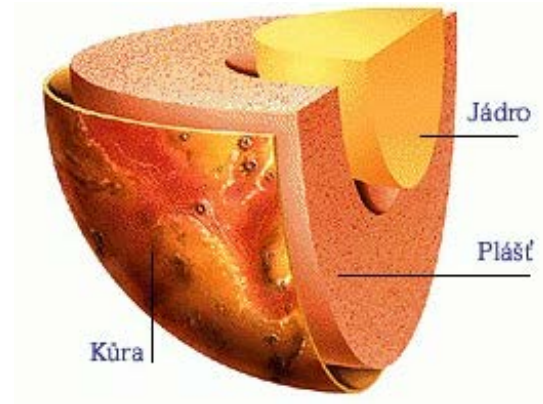
Odběr vzorků 20. 10. 2020



Planety

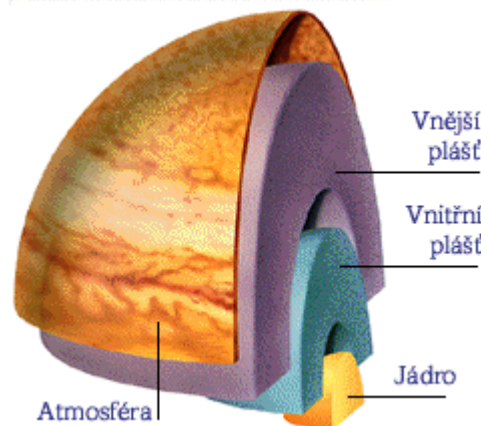
- podobné Zemi (terestrické)

- 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 2018, plánovaný přílet konec 2025)

Povrch – podobný měsíčnímu povrchu (bez měsíčních moří)

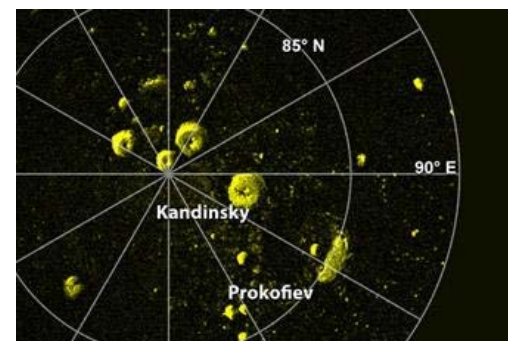
- krátery většinou impaktní
- charakteristické obloukovité zlomy (relativně strmé příkopy v délce až stovky km)
- pánev *Caloris* (Pánev horka) – kolem 6 prstencových valů (nejvýraznější o průměru 1340 km); unikátní dno – praskliny, horské hřbety (vybíhající ze středu nebo v soustředných prstencích)
- 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 g . cm⁻³



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

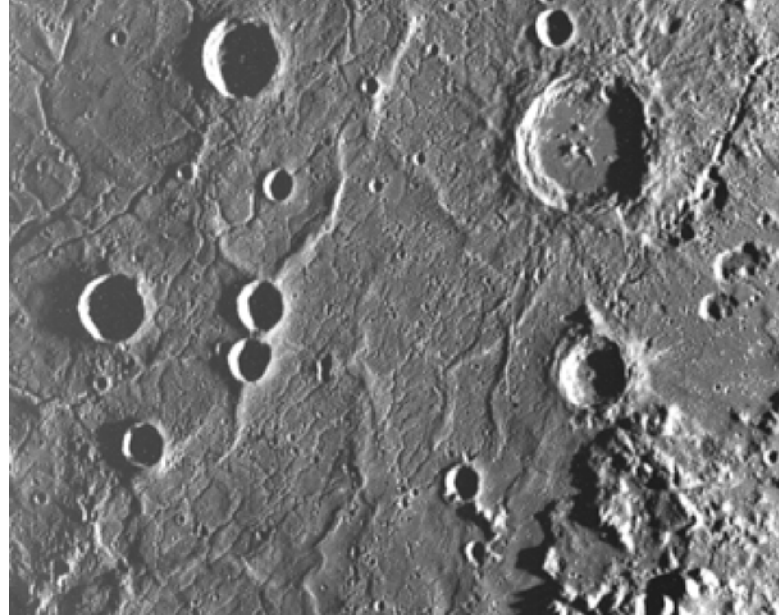




Povrch Merkuru



ze sondy Mariner 10

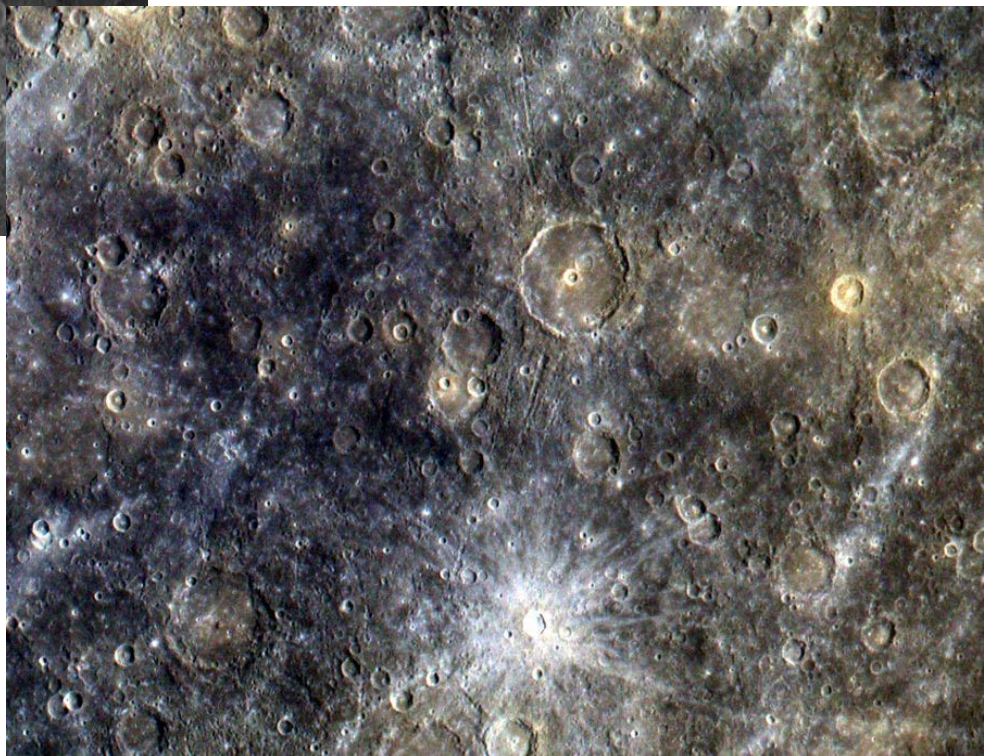


detail dna pánve Caloris

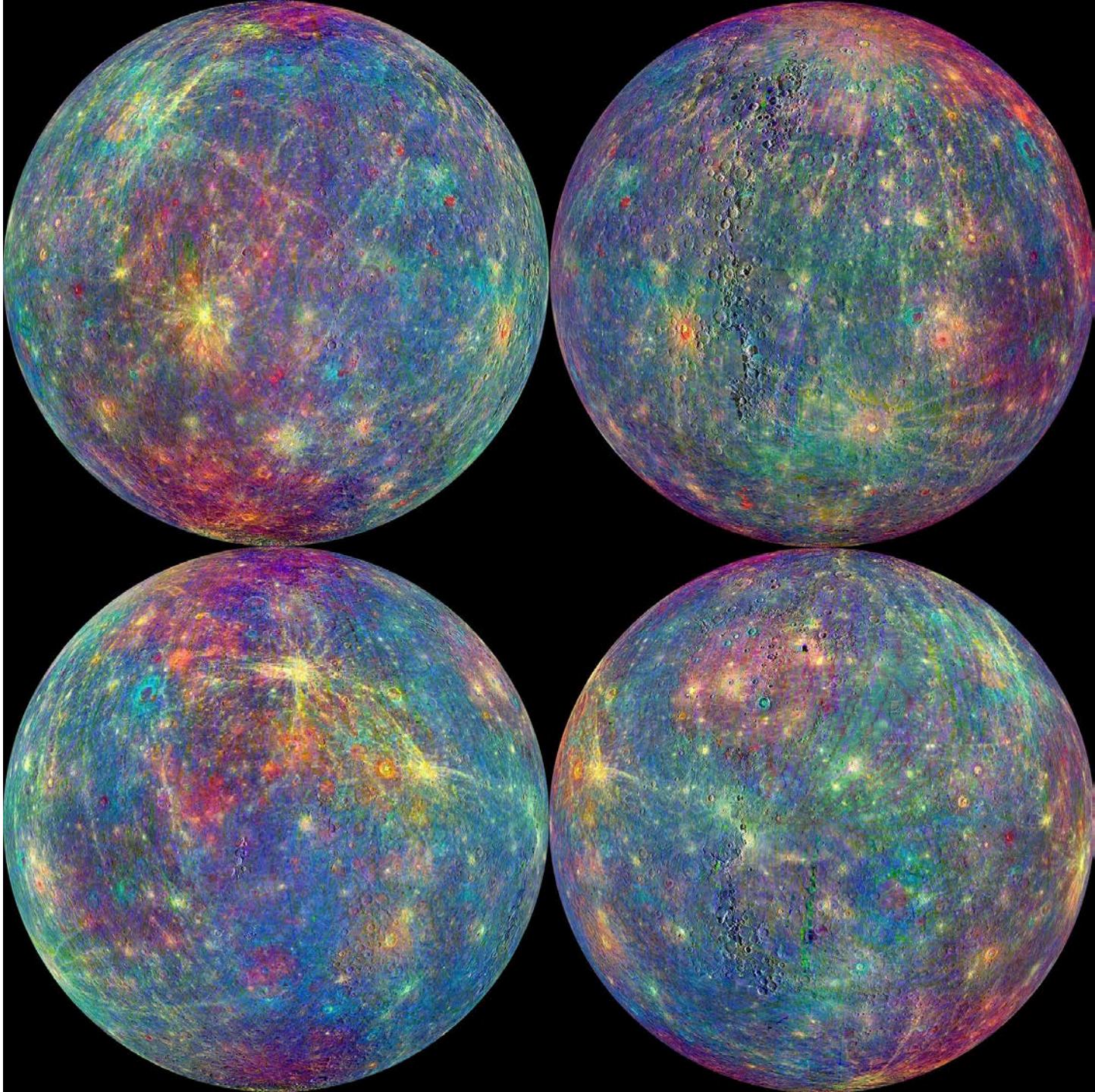
Sondy:

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

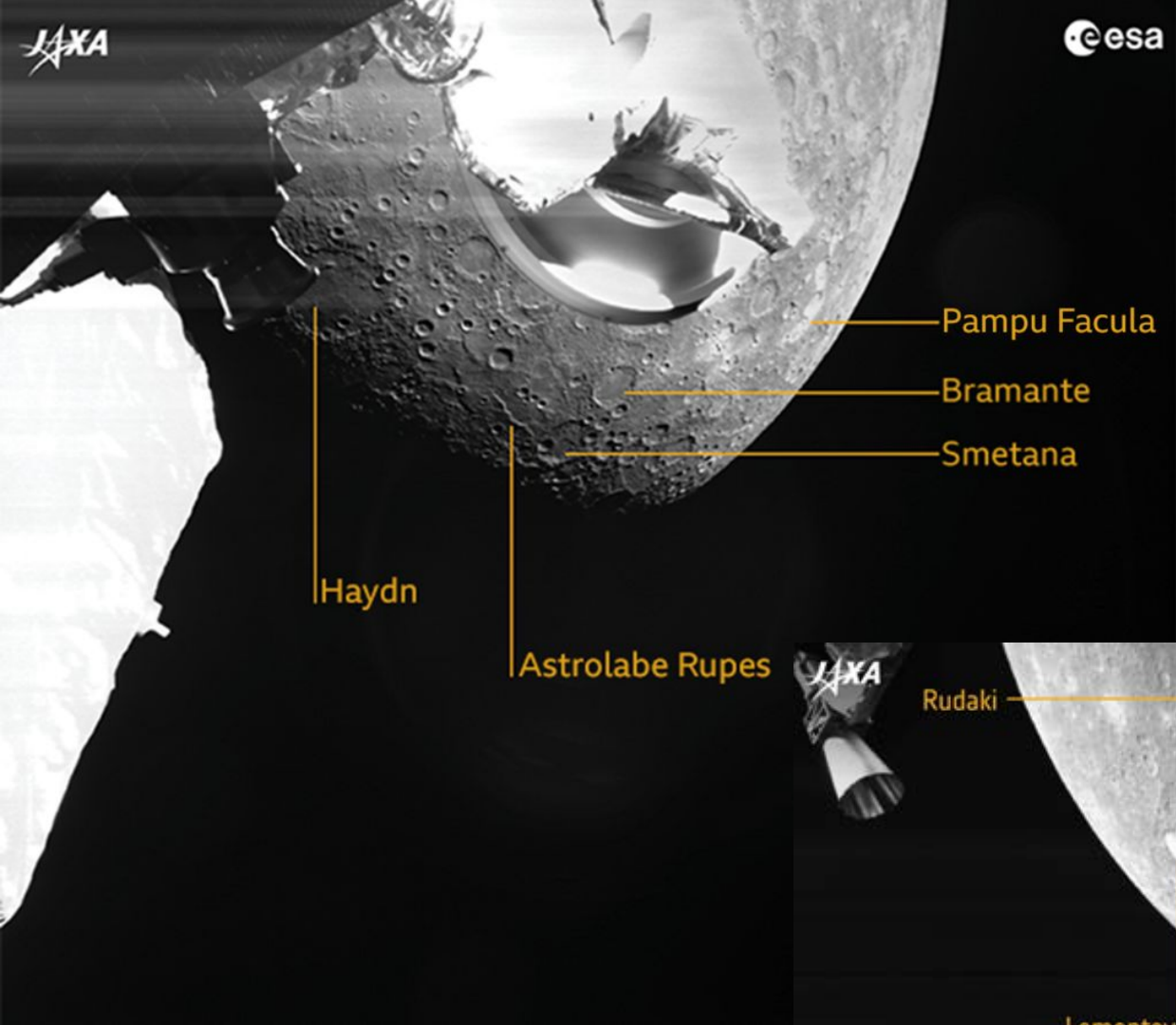
ze sondy MESSENGER



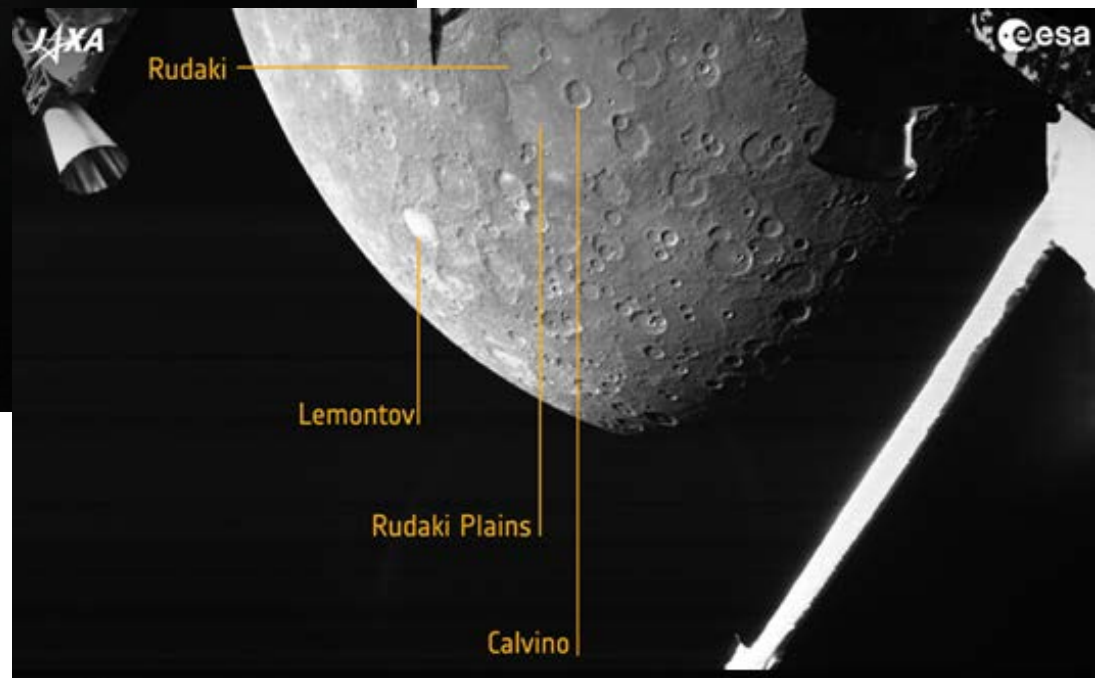
Povrch Merkuru
ze sondy MESSENGER



barvy odlišují složení povrchu



BepiColombo – první snímky 2021



North
↙

BepiColombo, Monitoring Camera #2

1 October 2021
23:44:12 UTC

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 CO_2 , kapky H_2SO_4 , fosfan???

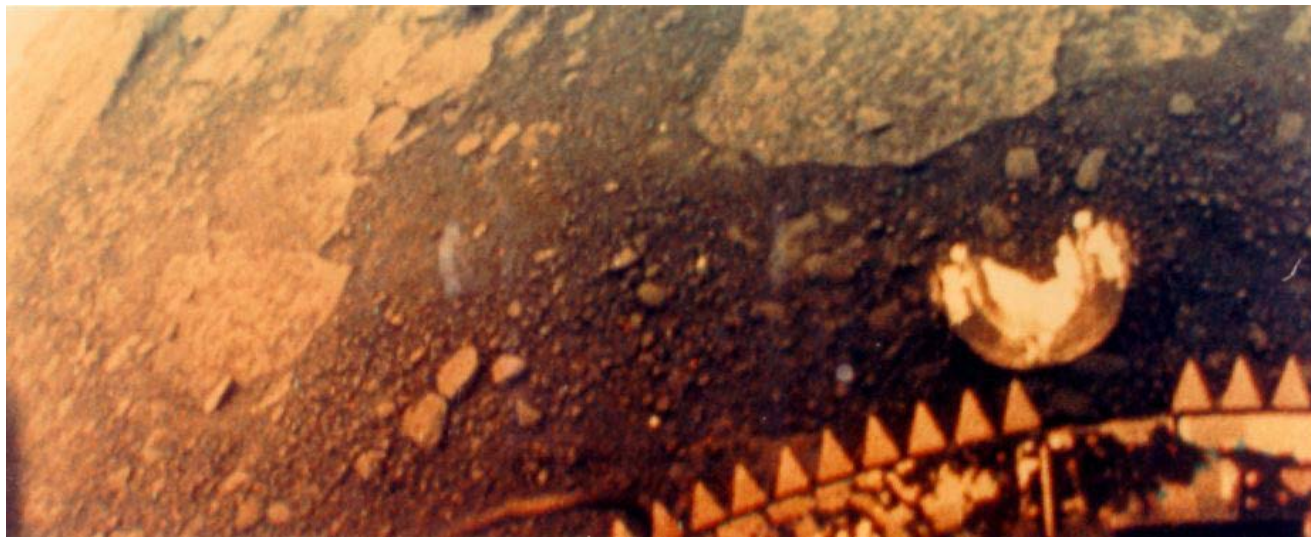
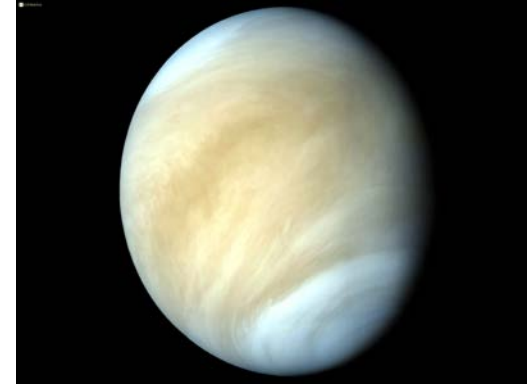
- silný skleníkový jev => teplota na povrchu 490 °C, tlak 90x větší než na Zemi

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

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

(2021), Shukrayaan-1 (2004-6), VERITAS (2028), DAVINCI+ (2029-30),

Veněra-D (2029)...



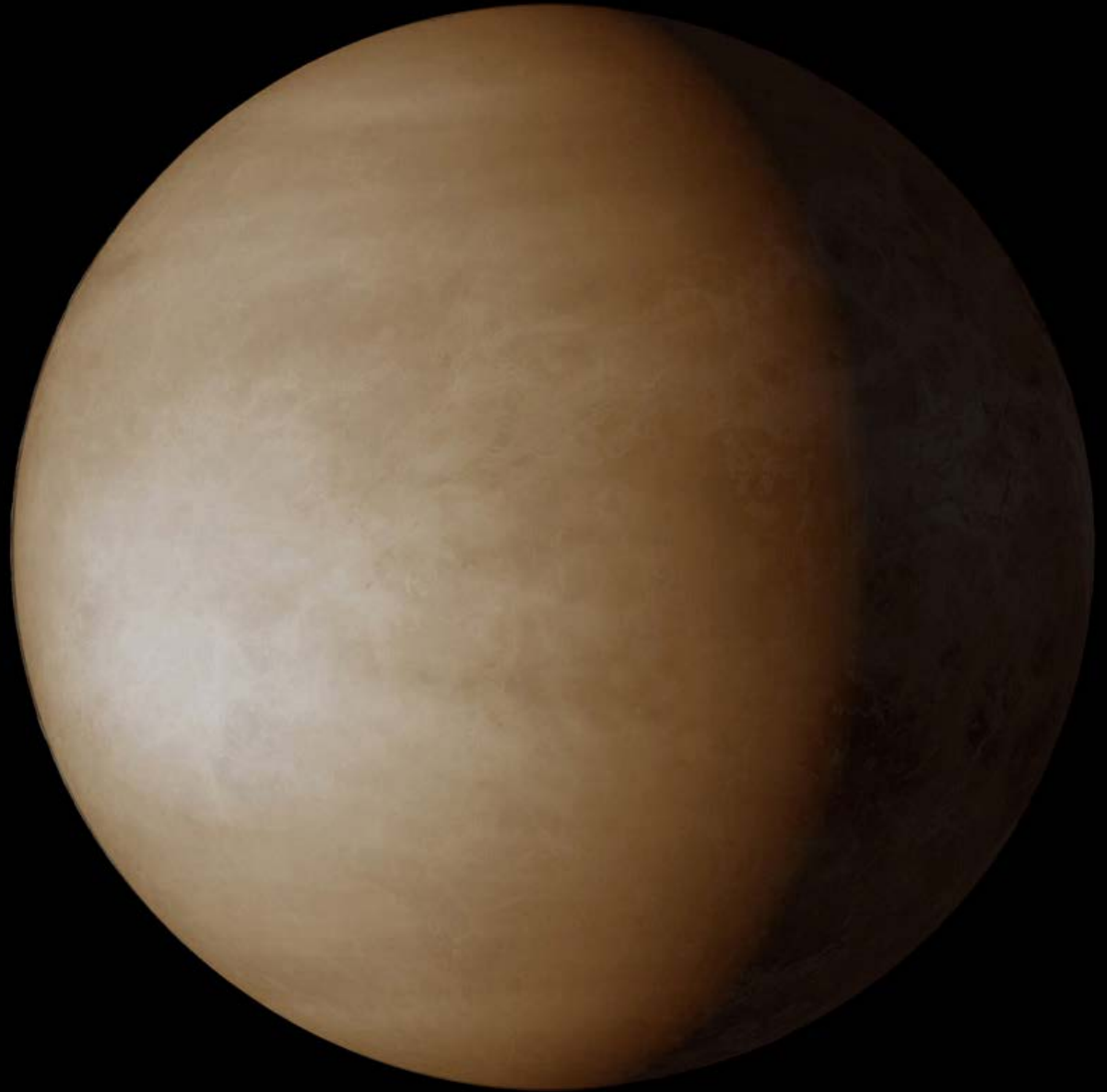
Záběr Venušina povrchu
(sonda Veněra 13).

Venuše

průměr: 12 103 km

hustota: 5,25 g . cm⁻³

teplota: +482 °C

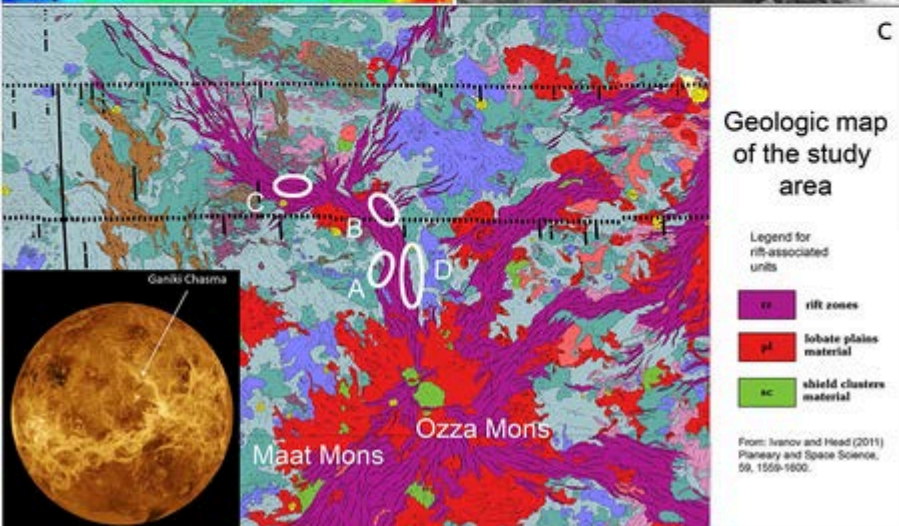
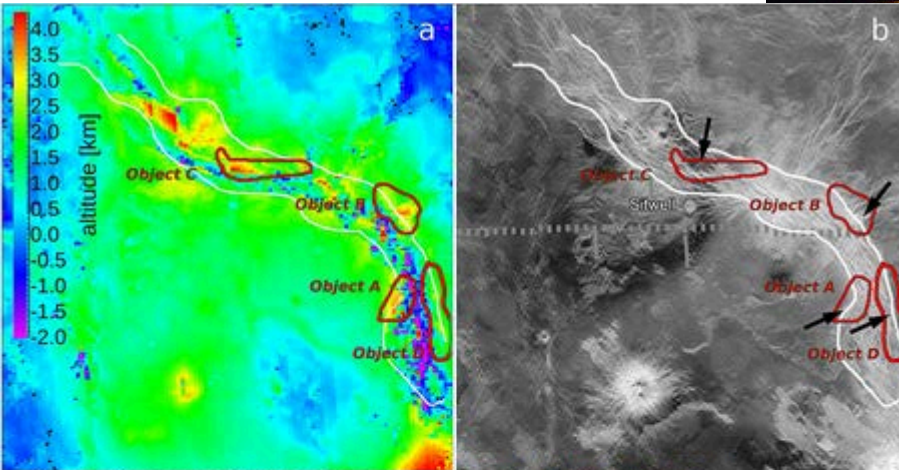
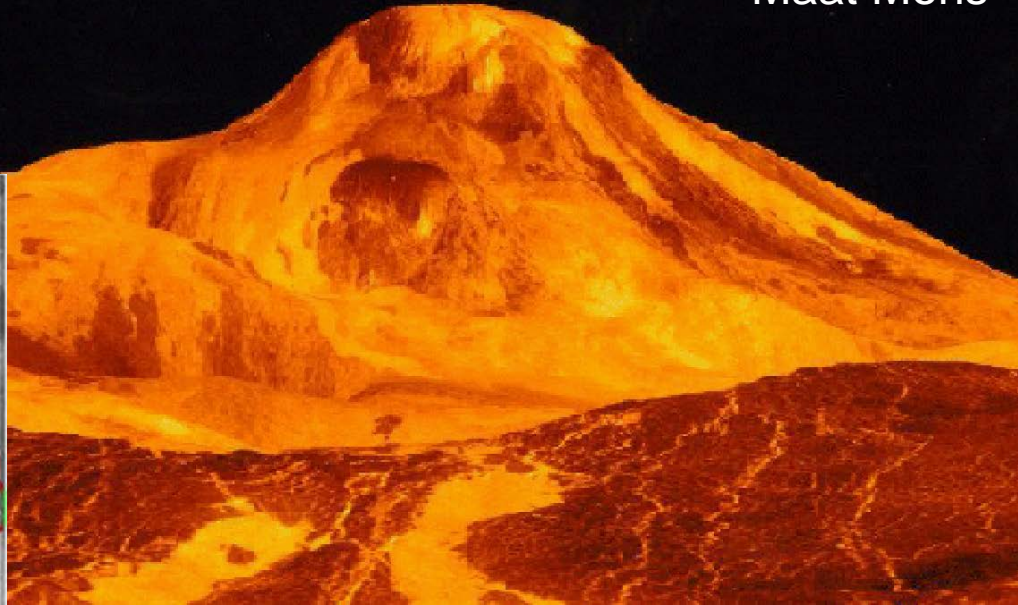


Pohyby – perioda rotace 243 d x doba oběhu 224,7 d !

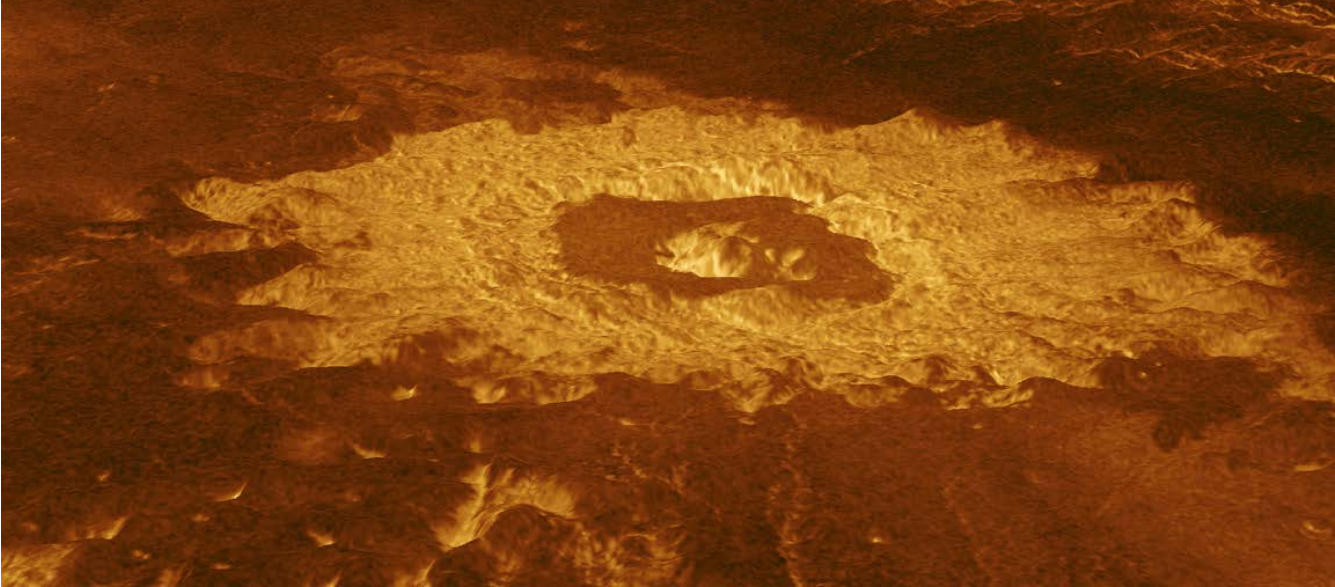
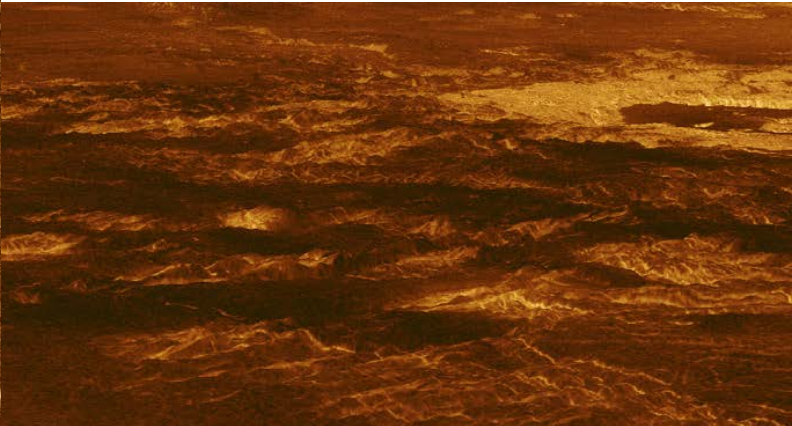
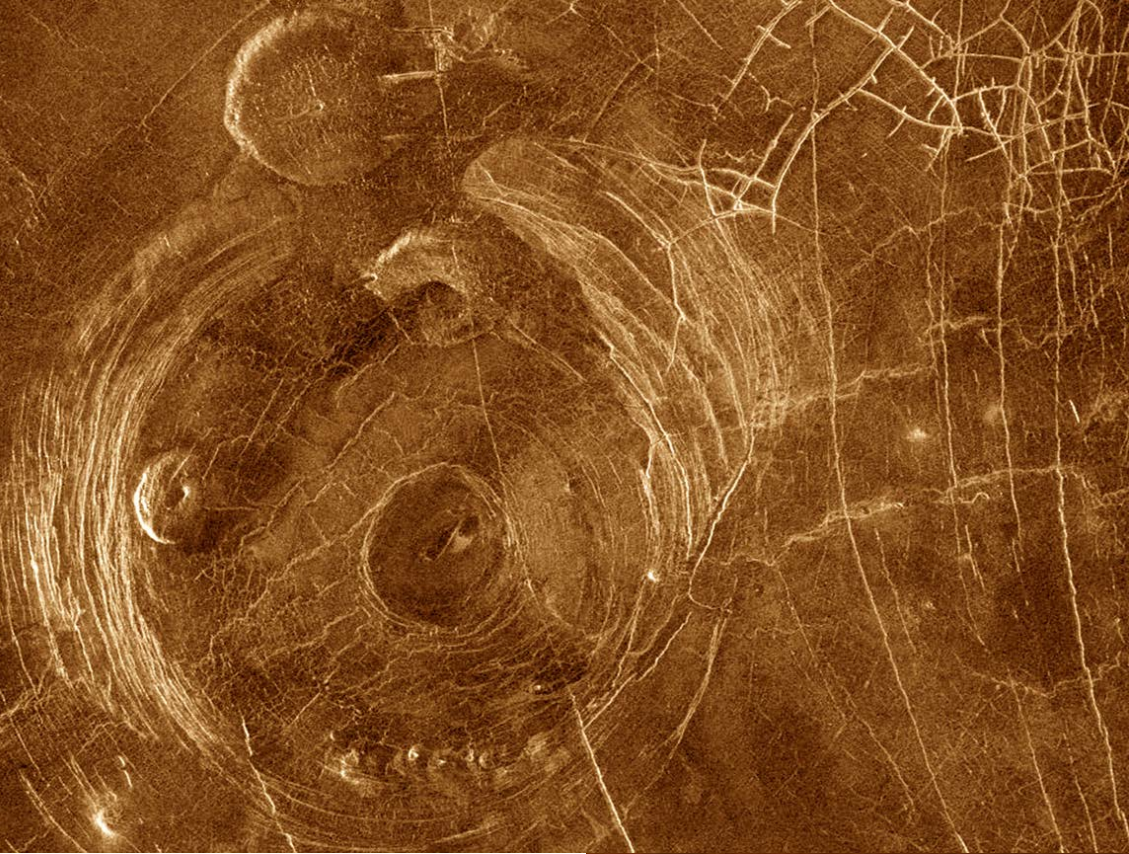
Povrch - štítové sopky (podobné havajským na Zemi) - *Theia Mons* a *Rhea Mons* (v oblasti Beta Regio) - nejobmnější známé vulkány – základna o průměru 1000 km, výška 5 km nad okolí

- více než 85 % povrchu sopečného původu,

Maat Mons



červenec 2020 – 37 aktivních sopek!





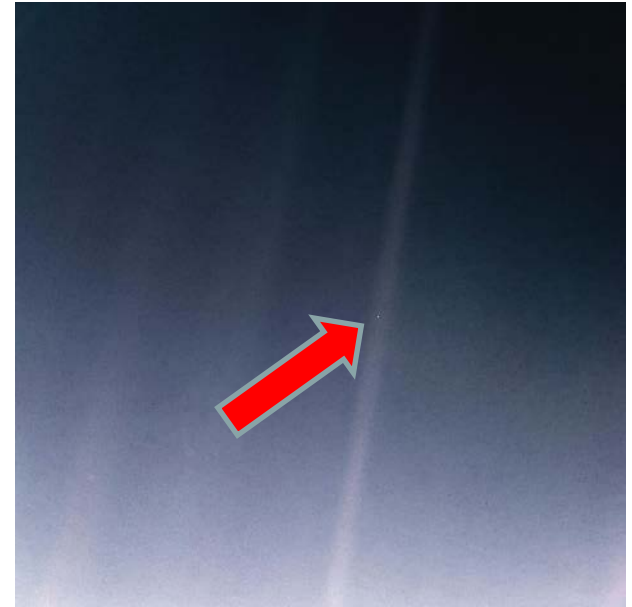
Země

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

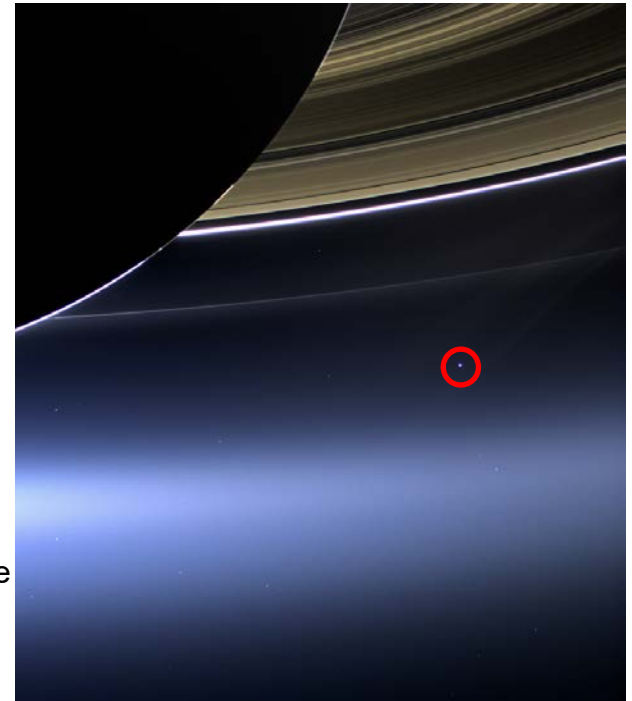
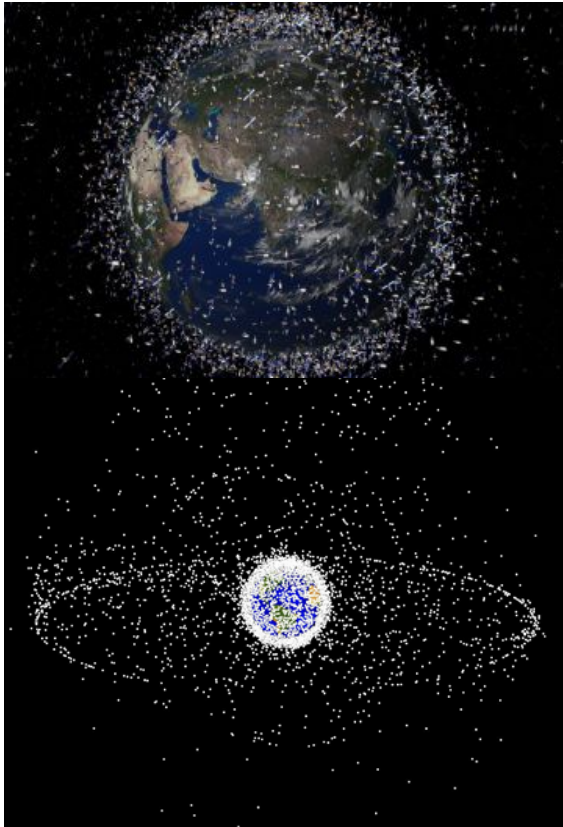
Okolí – družice Měsíc, velké množství umělých družic a kosmického smetí
(cca 10^6 úlomků větších než 1 cm)



Pale Blue Dot (Voyager 1, Sagan)

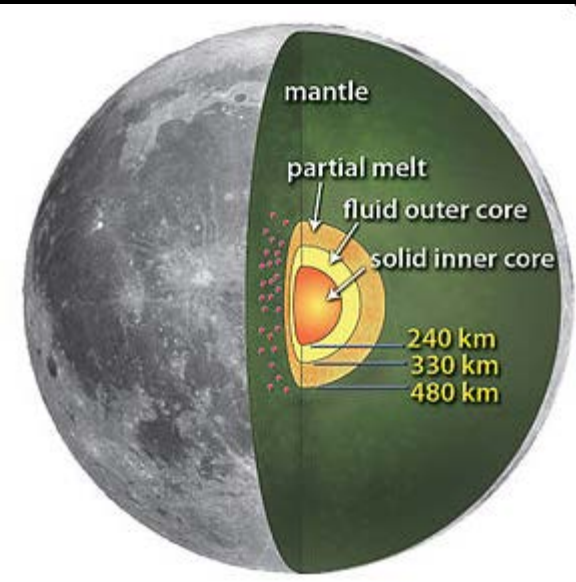


ClearSpace-1
plánovaný start 2025



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 chem

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 3 – 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

2024 – návrat lidí (NASA), Čína?

??? - stálá základna (NASA, ESA, Čína, Rusko)



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 CO₂, dolní H₂O
 - 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

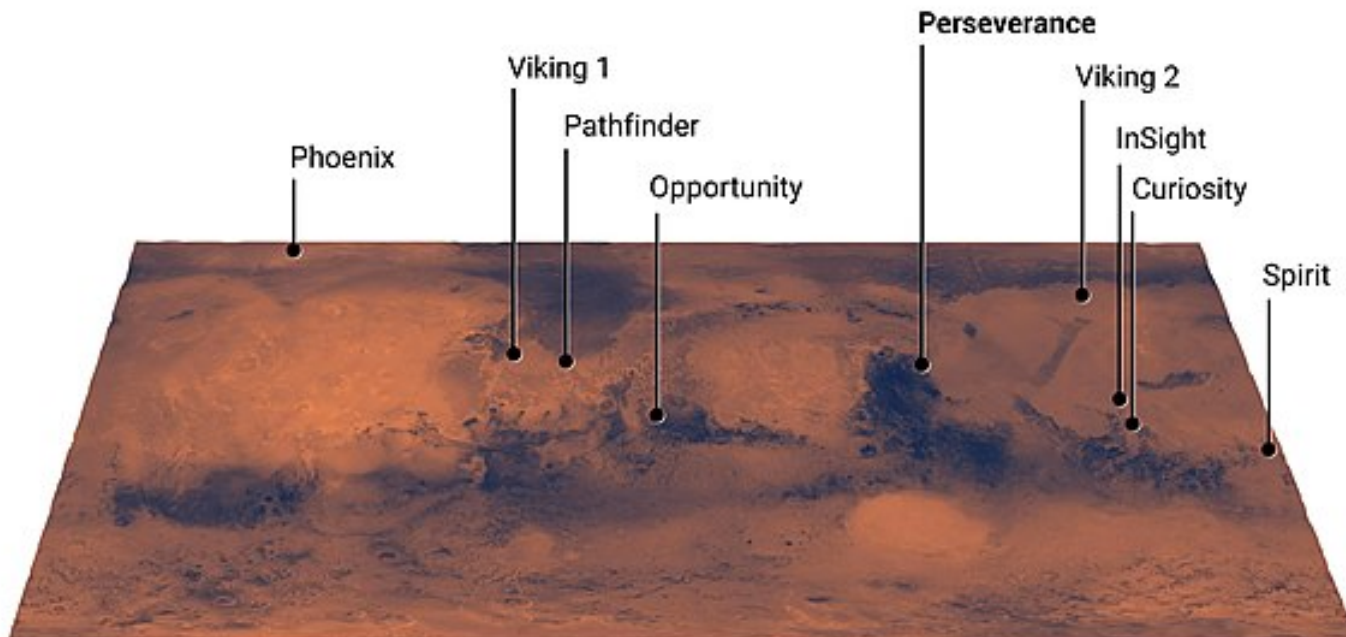
Co je právě teď vidět na Marsu - <https://skyandtelescope.org/observing/interactive-sky-watching-tools/mars-which-side-is-visible/>

Kosmický výzkum

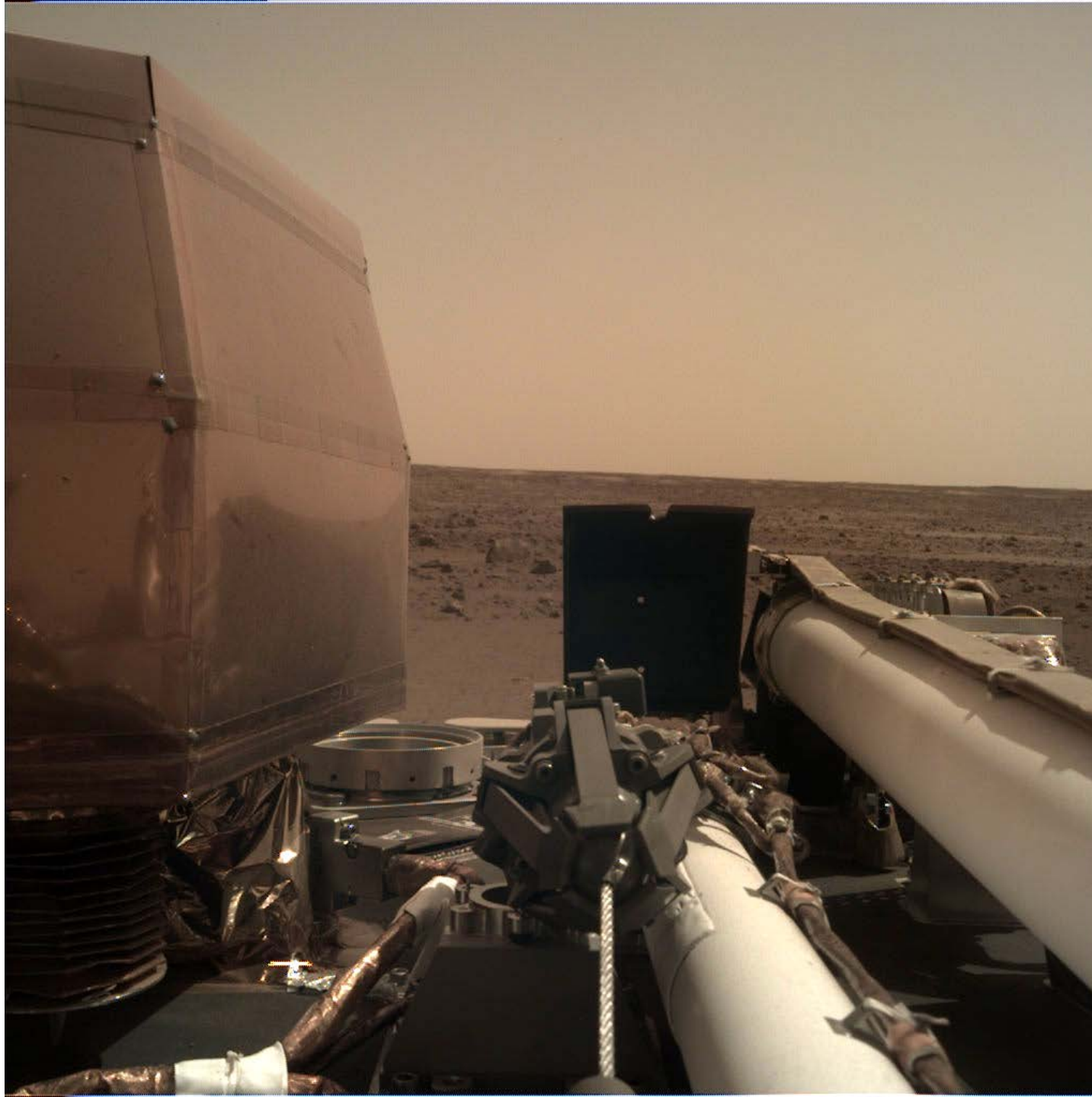
Průzkum – Mars, Viking, Pathfinder, Mars Explorer, Mars Express, Mars Orbiter, Mars Exploration Rover, Mars Reconnaissance Orbiter, Phoenix, Mars Science Laboratory (Curiosity) ... např. v roce 2014 – sedm aktivních misí!

poslední starty:

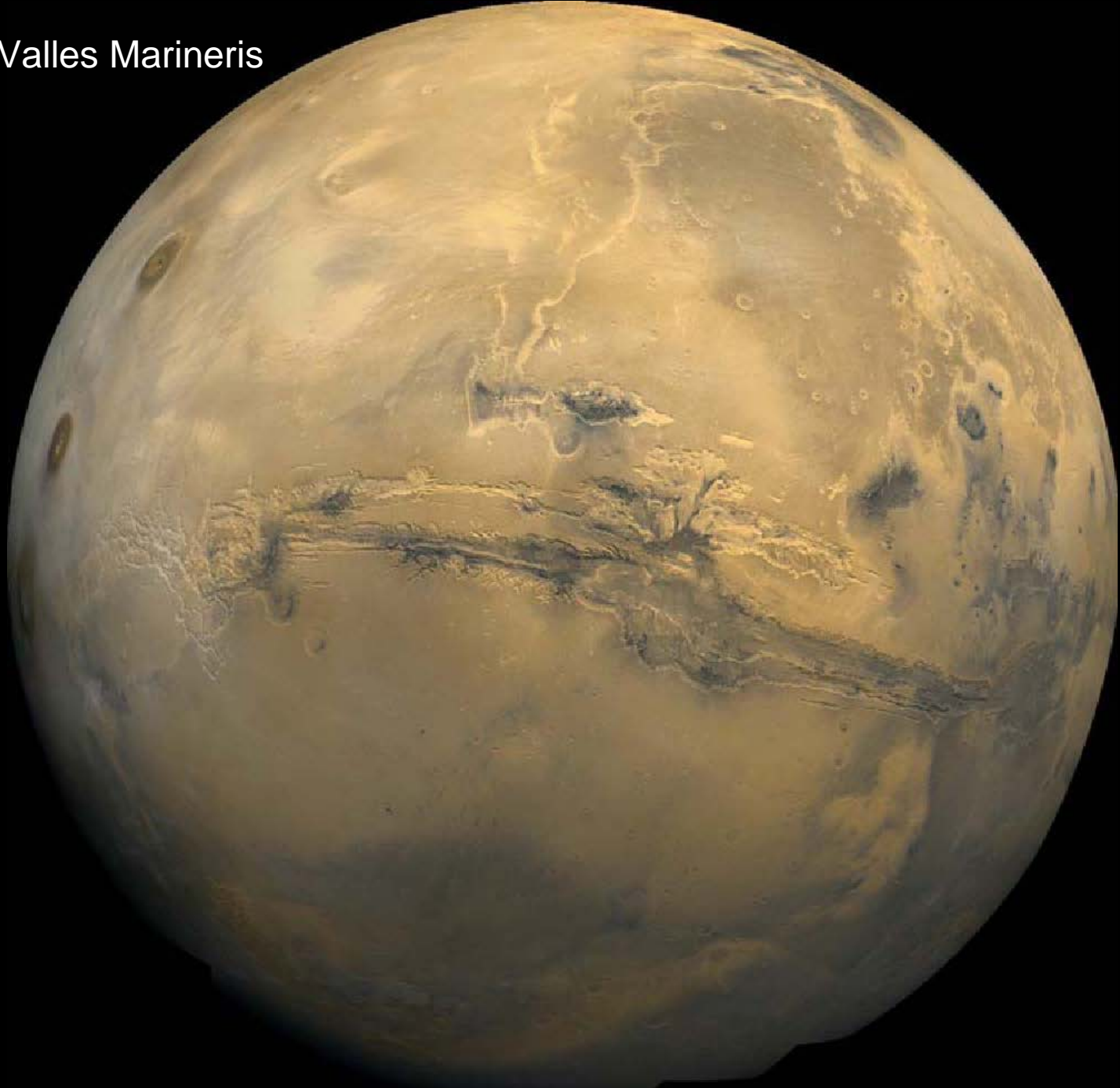
- 2018 InSight (Mars Cube One)
- 2021 - Emirates Mars Mission (SAE) – orbiter,
 - Tianwen -1 (Čína) – orbiter + lander/rover,
 - americký Perseverance (rover) + Ingenuity (helikoptéra)
- 2022 – ExoMars (Rusko, ESA) – lander+rover
- 2024 - Martian Moons Exploration (MMX, Japonsko), Mangalyaan 2 (Indie) - orbitery

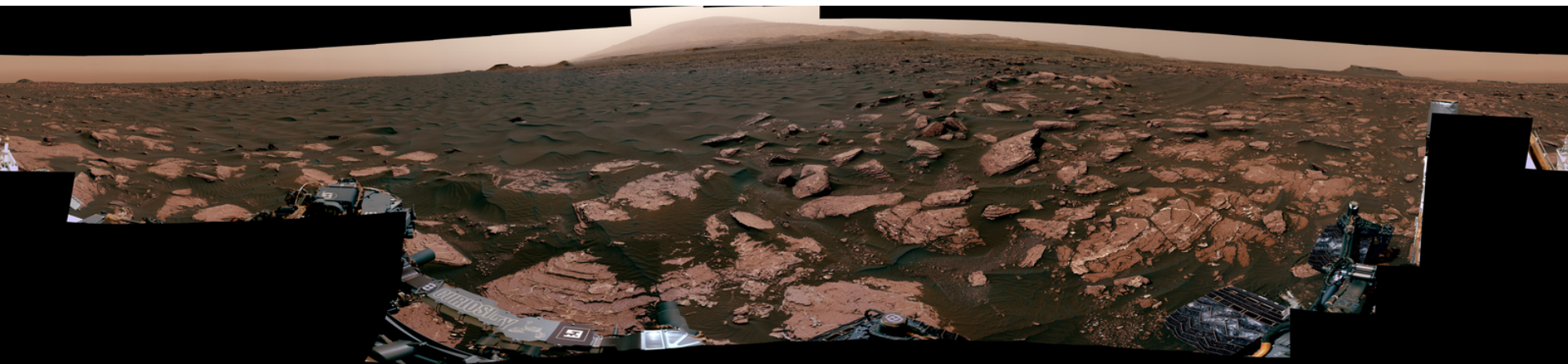
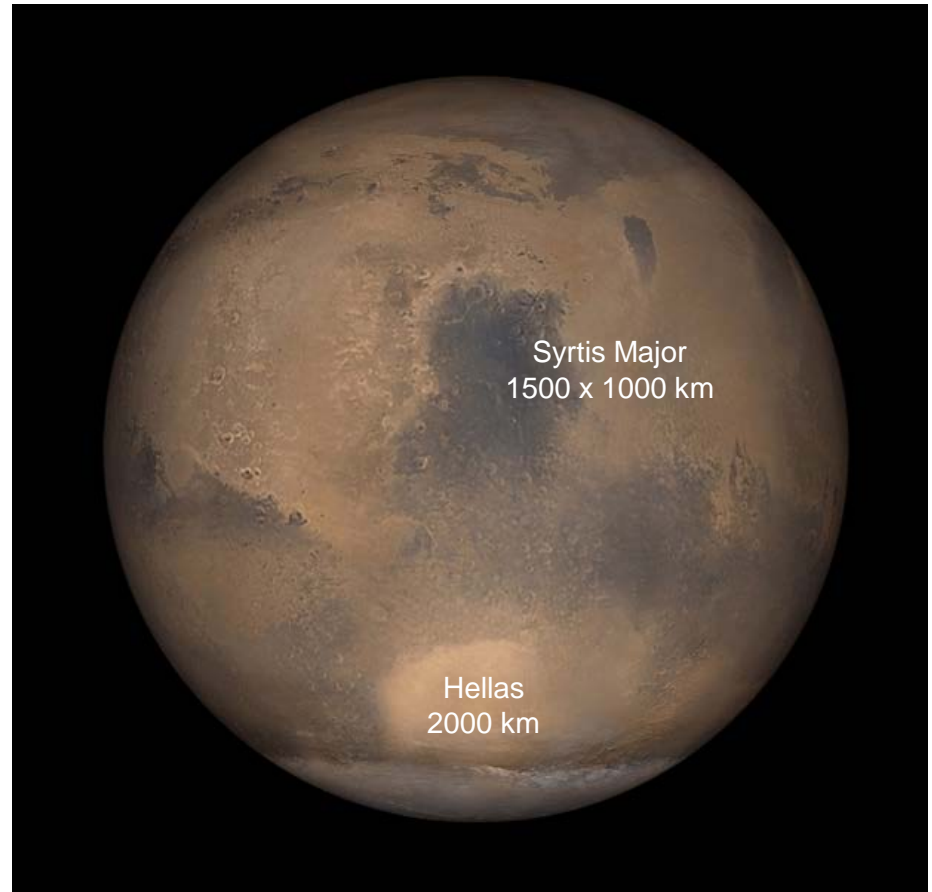
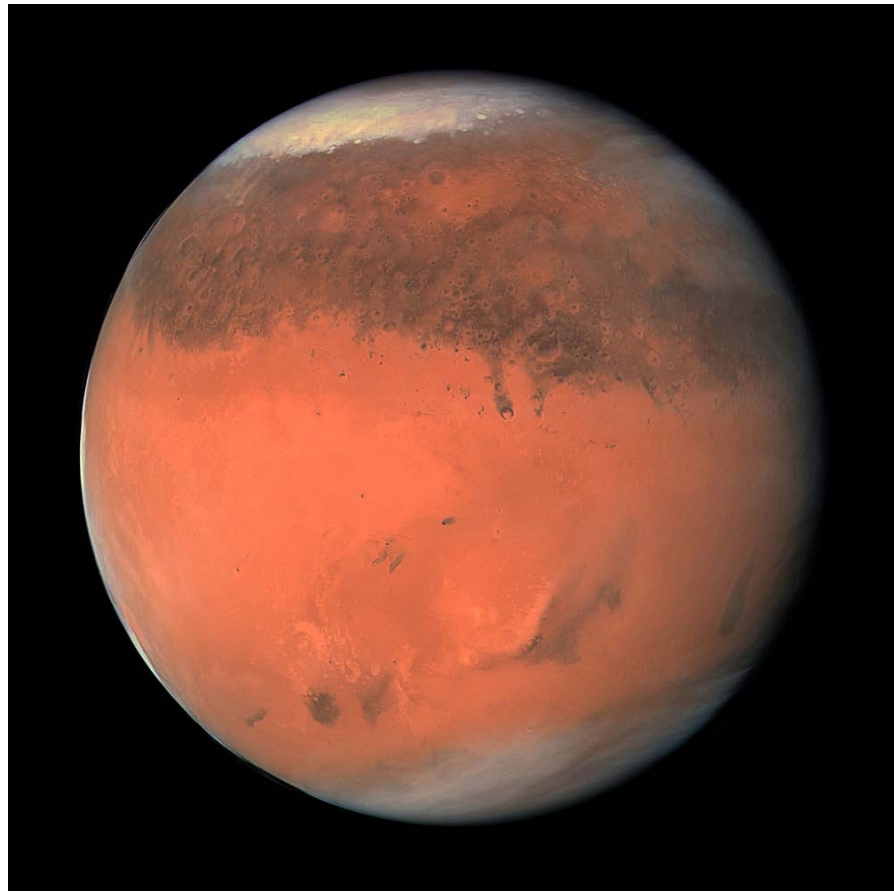


InSight
27.11.2018



Mars: Valles Marineris

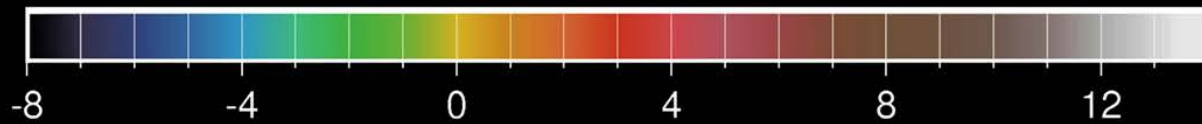
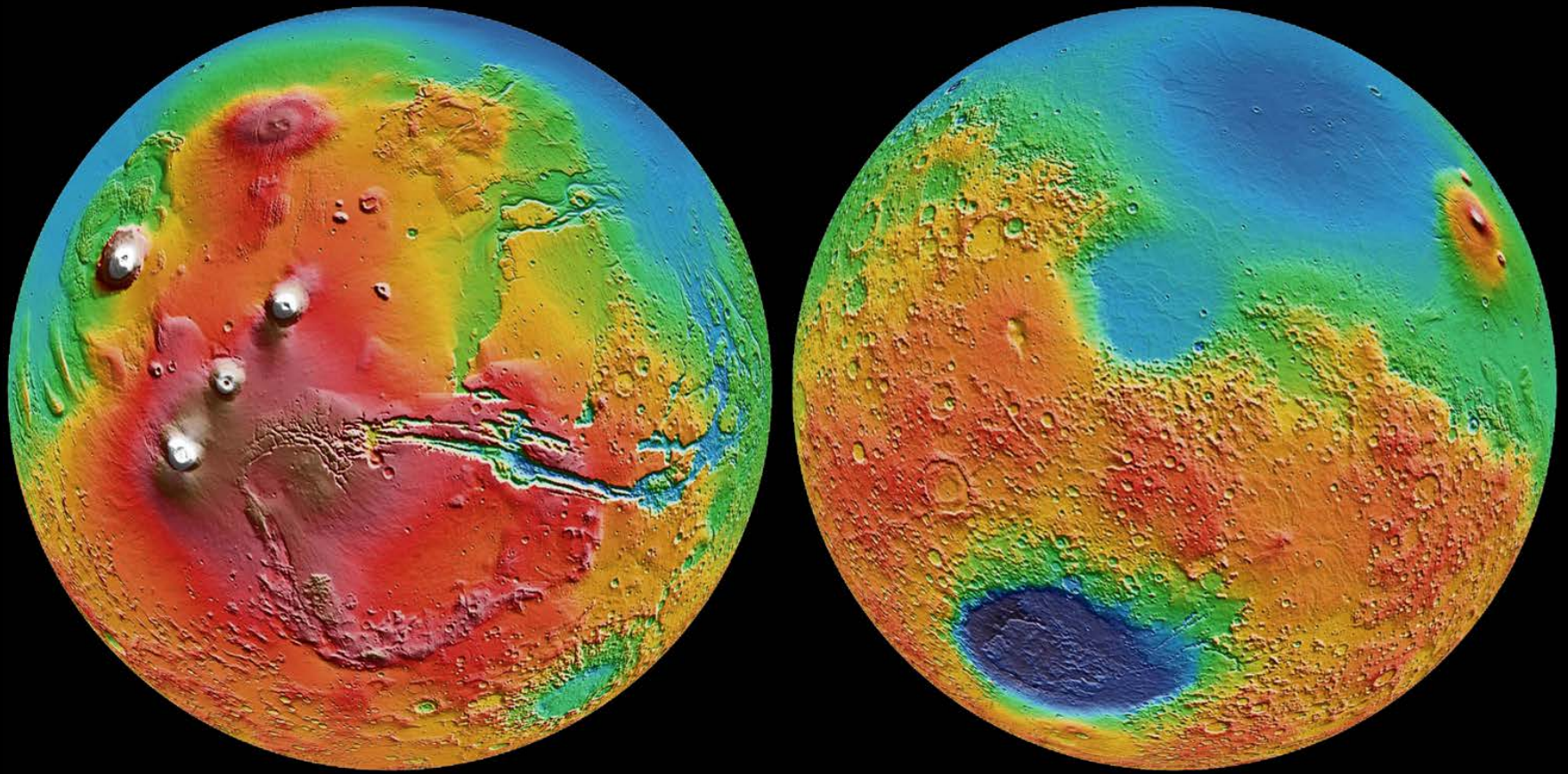




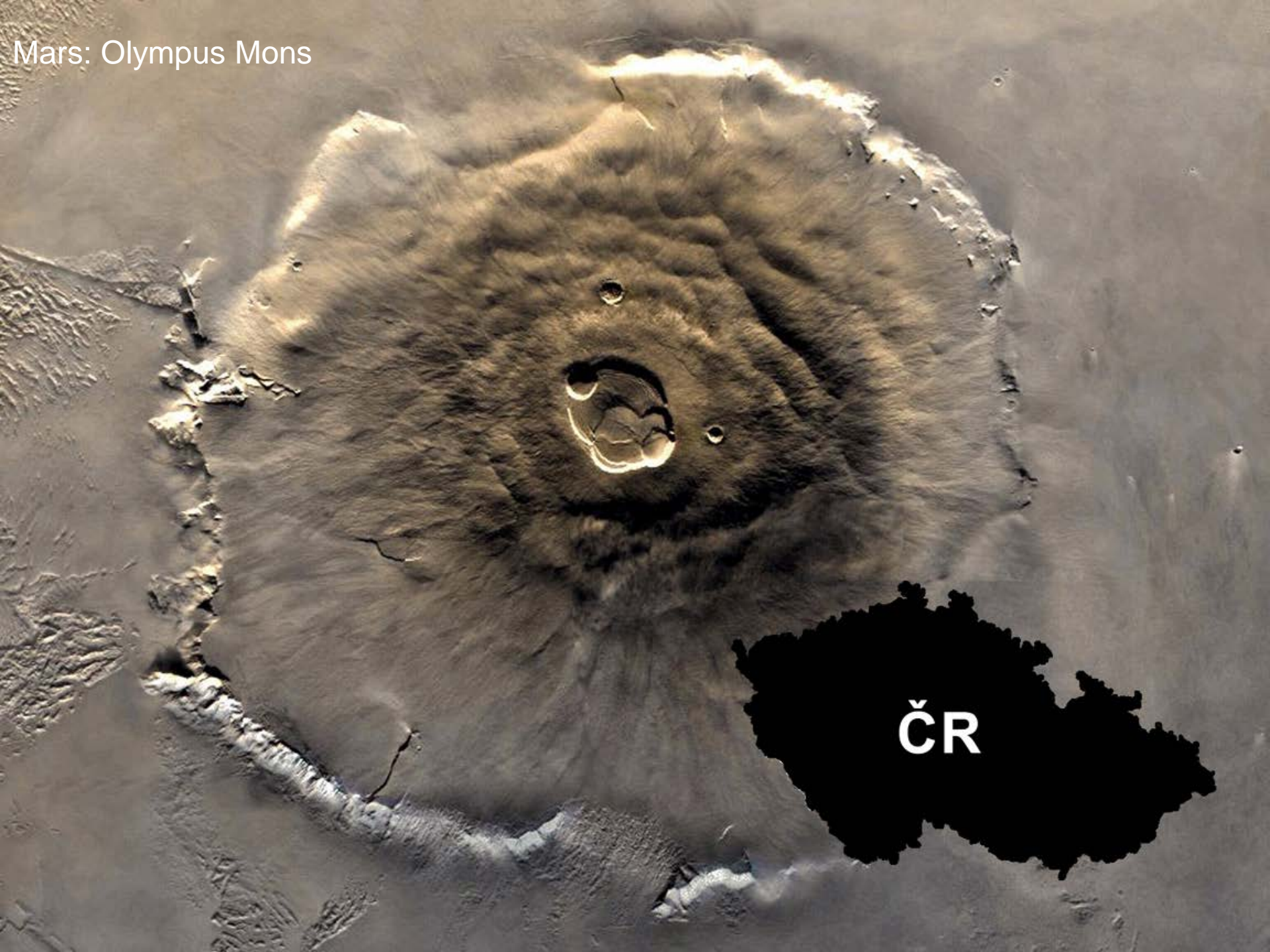
Mars: dust devils

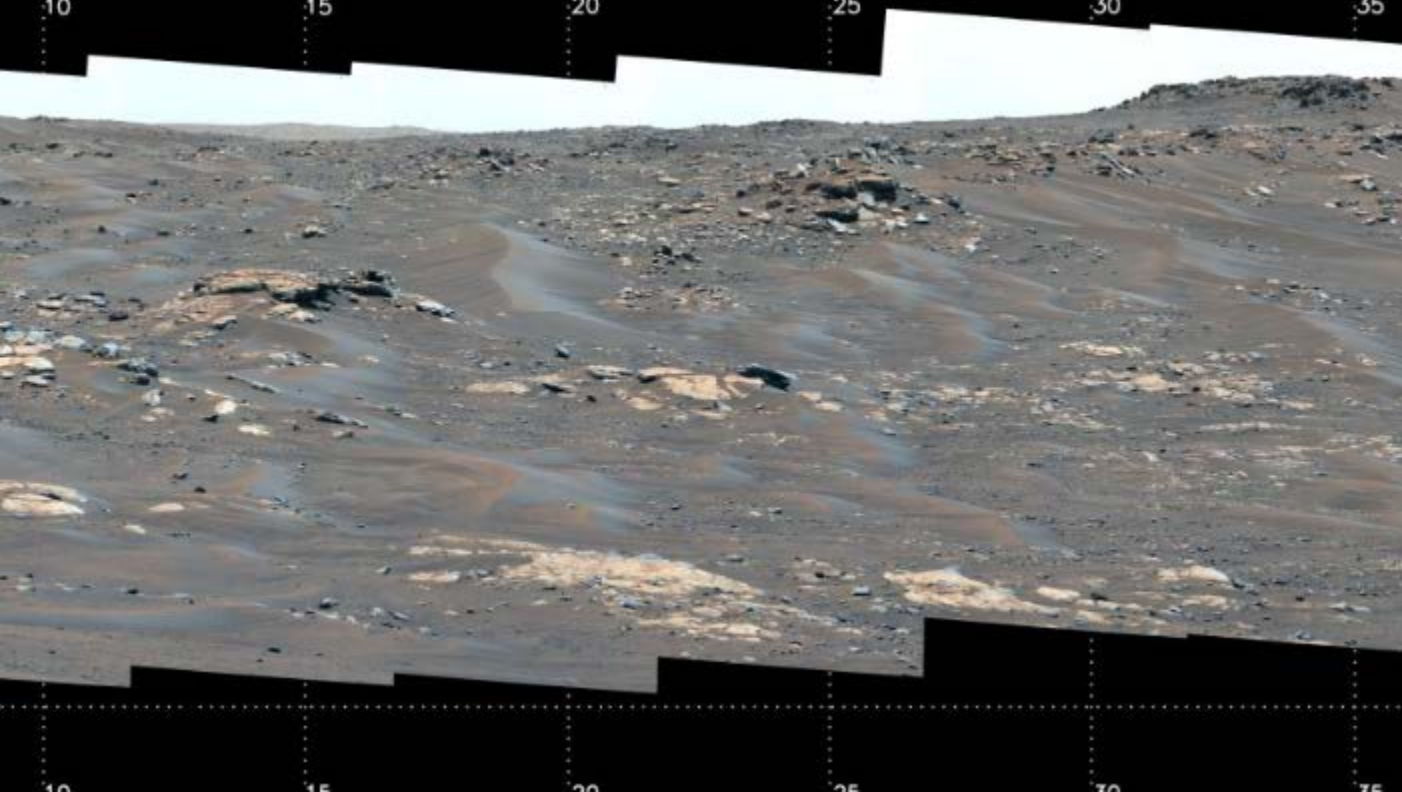


Topografie Marsu

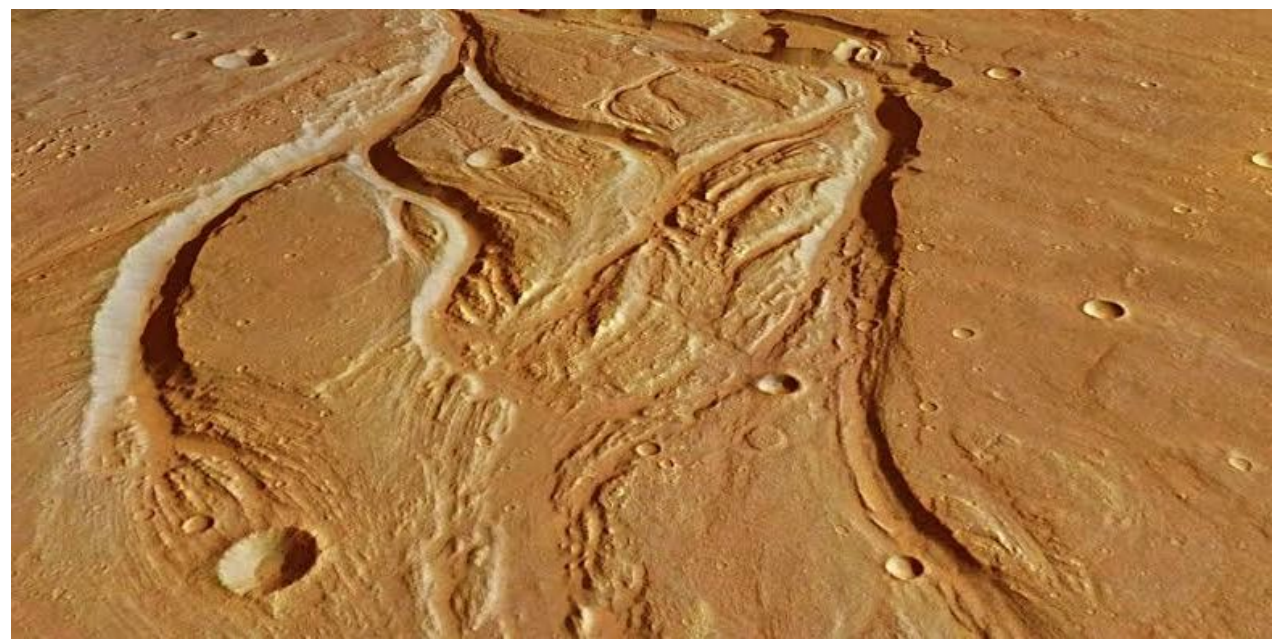


Mars: Olympus Mons

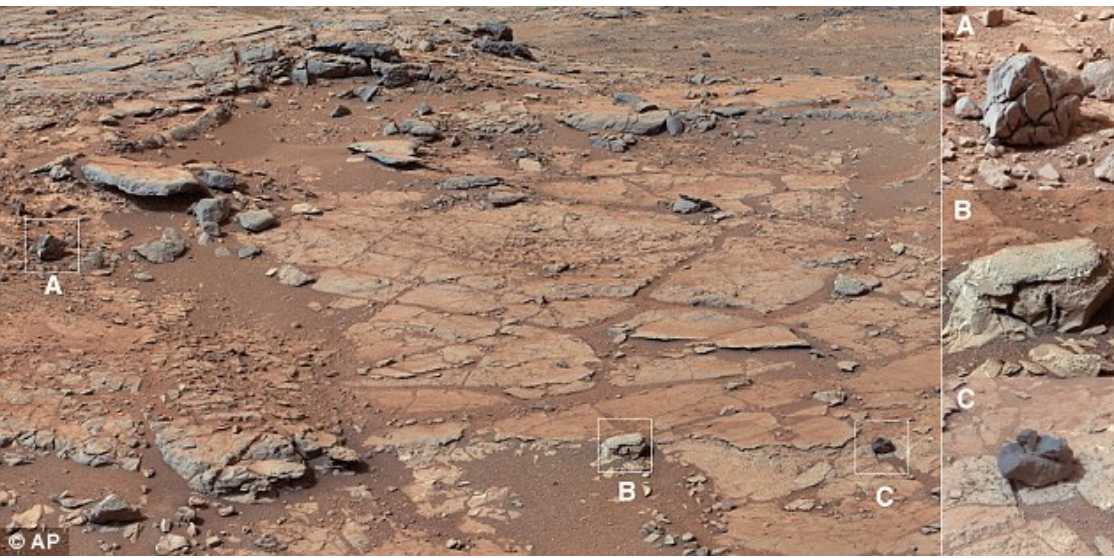




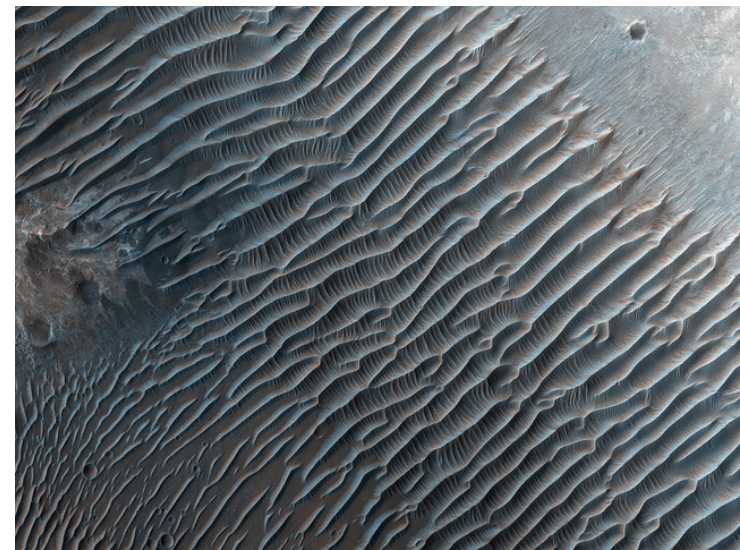
“South Séítah”,
kráter Jezero,
sonda Perseverance



sonda Curiosity
vyschlá řečiště



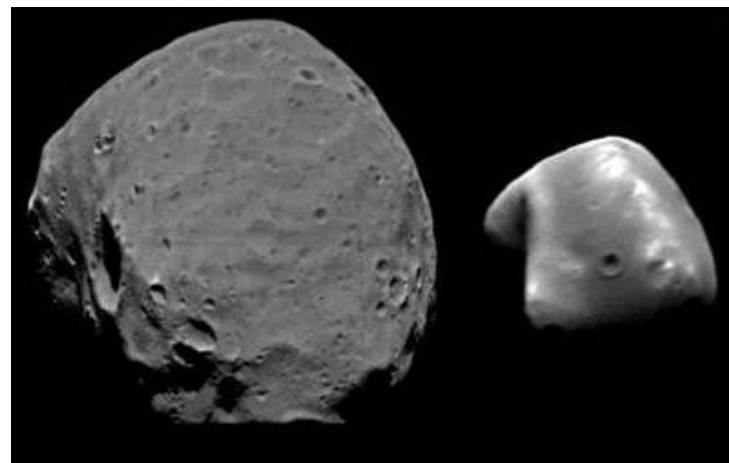
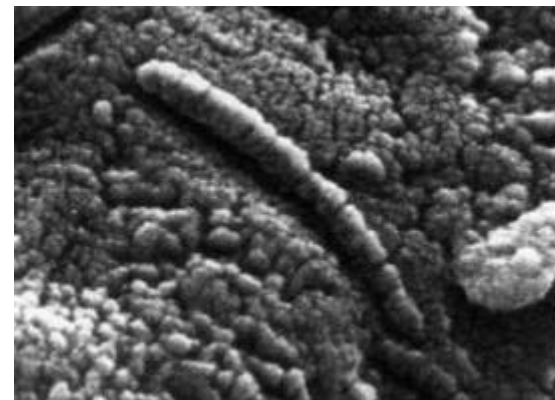
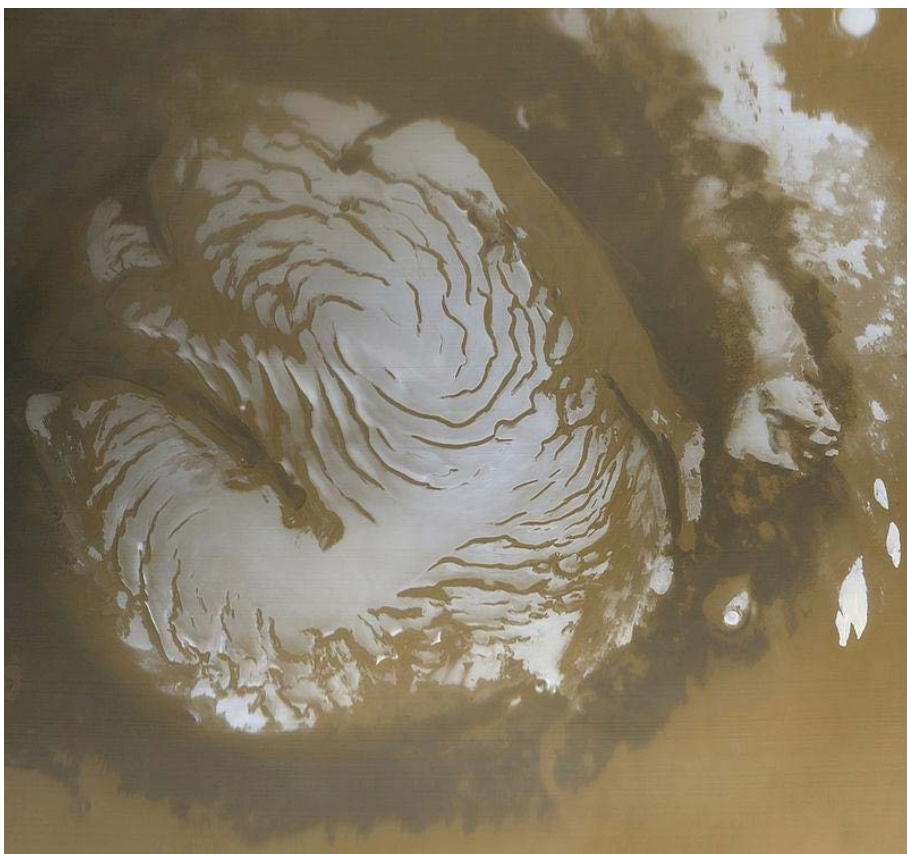
<https://mars.nasa.gov/mro/multimedia/images/>



Život na Marsu?

Přímé důkazy - zatím neexistují;
pokud ano - jen drobné mikroorganismy
přítomnost metanu – existuje i „neživé“
vysvětlení

Polární oblast - vodní led, v zimě překrytý suchým
ledem (CO₂)



Družice – Phobos a Deimos

Jupiter

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

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

Juno – od 2016 obíhá

Lucy - 2027 průlet

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

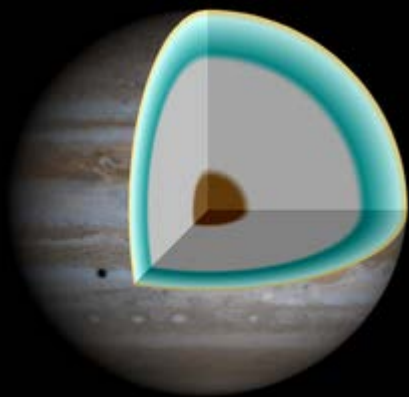
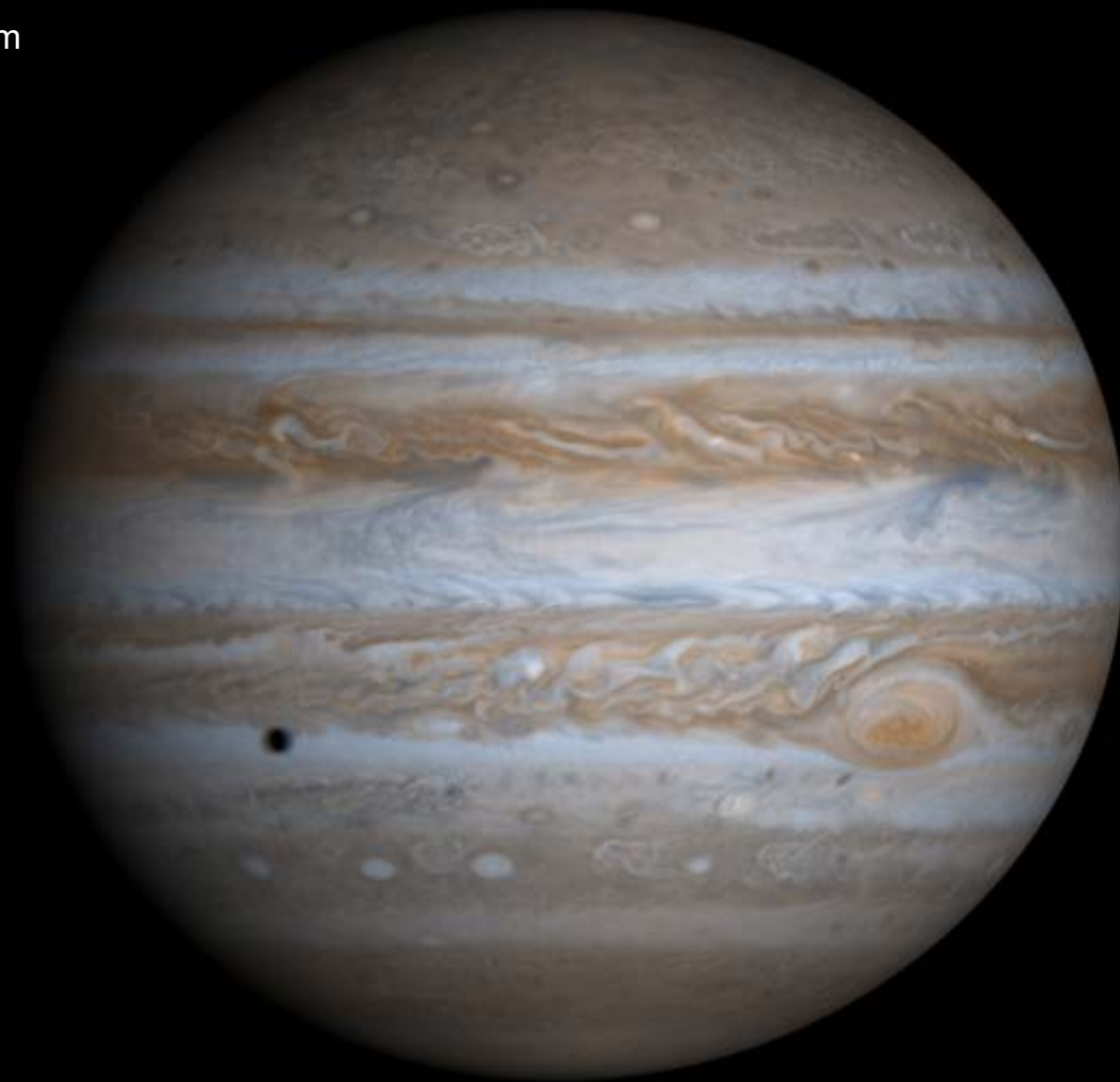
- výjimka - některé skvrny; největší je tzv. *červená/rudá skvrna* - existuje > 300 let ... ale zmenšuje se - zhruba poloviční proti 19. stol.

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

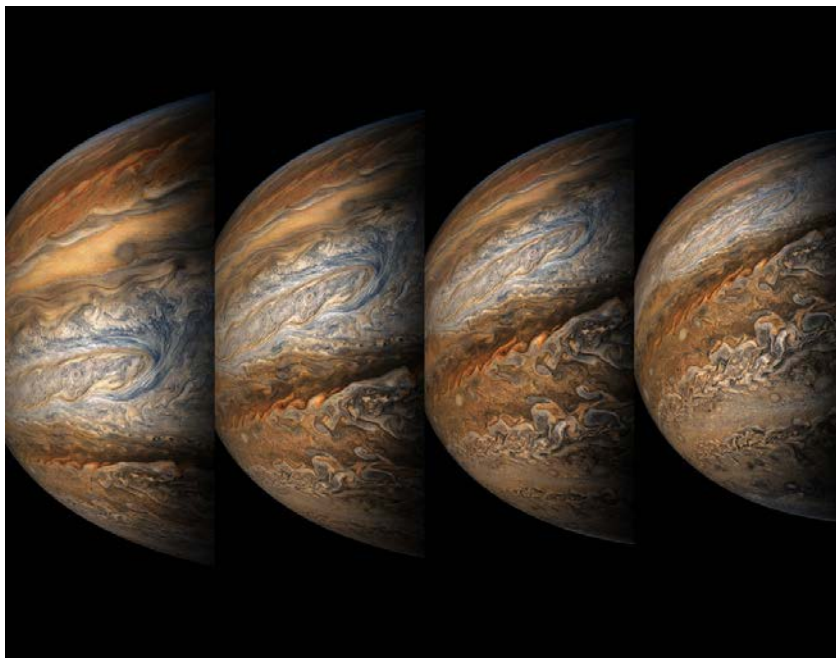
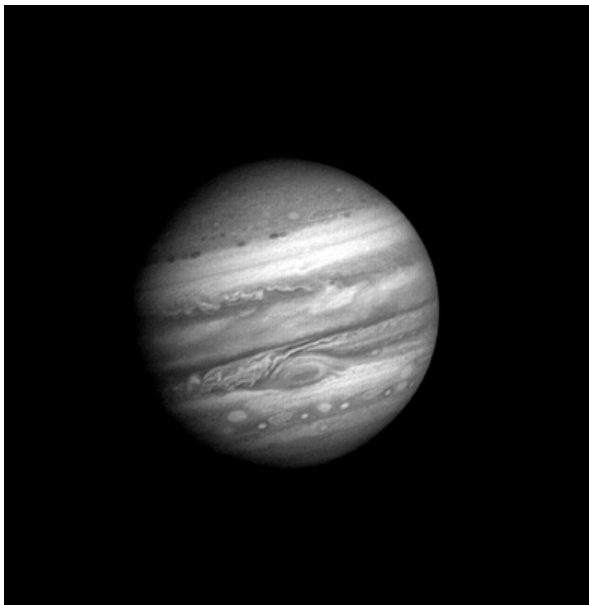
Okolí - čtyři velké družice (galileovské, velikostí srovnatelné s Měsícem)

79 (2021) družic menších rozměrů a nevýrazný prstenec.

poloměr rovníkový: 66 854 km
poloměr polární: 71 492 km
hustota: 1,33 g . cm⁻³
hmotnost: 2.10²⁷ kg

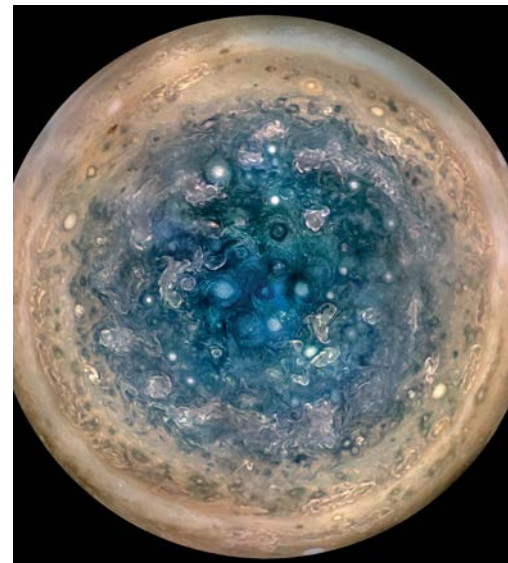
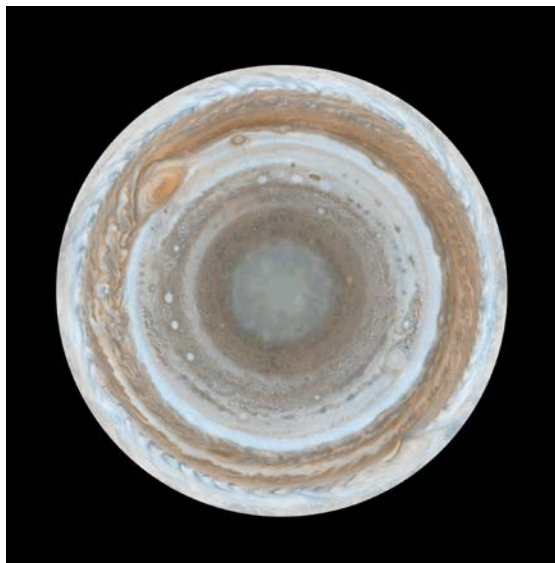


složeno ze snímků Voyageru 1 (1979)

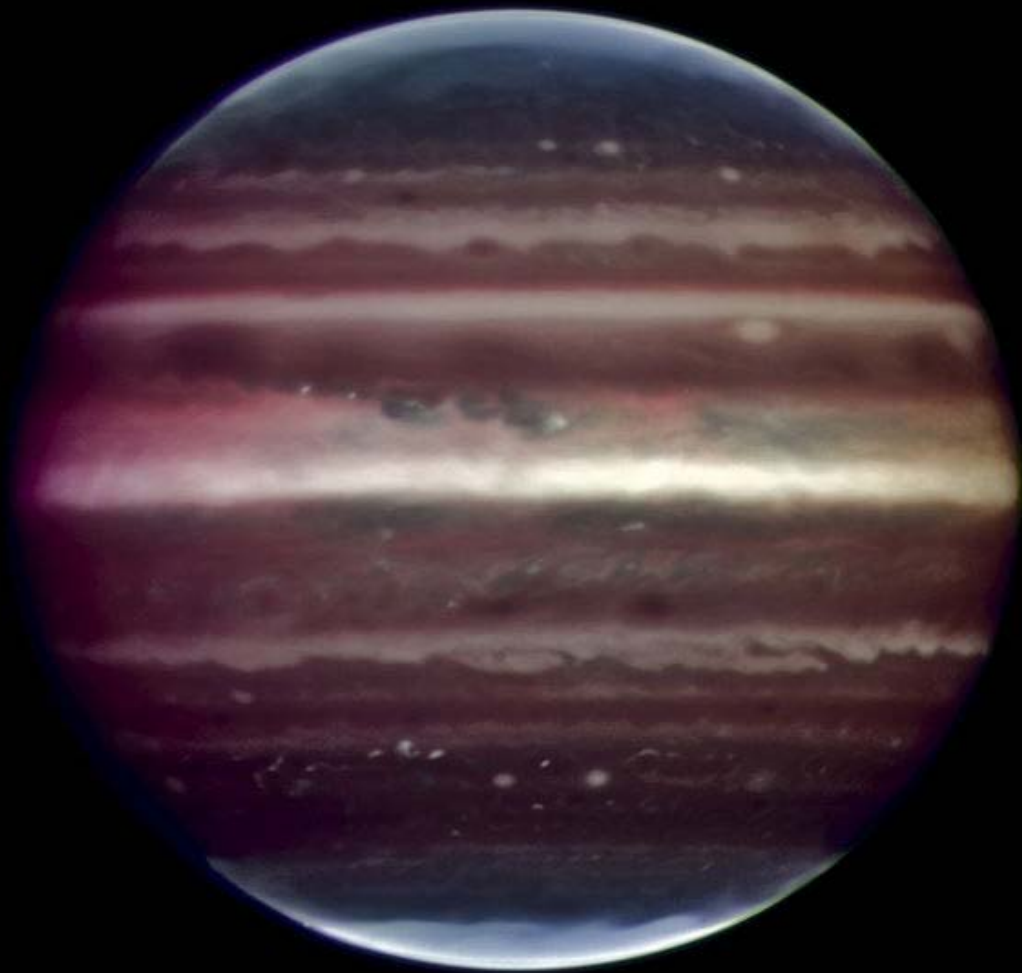


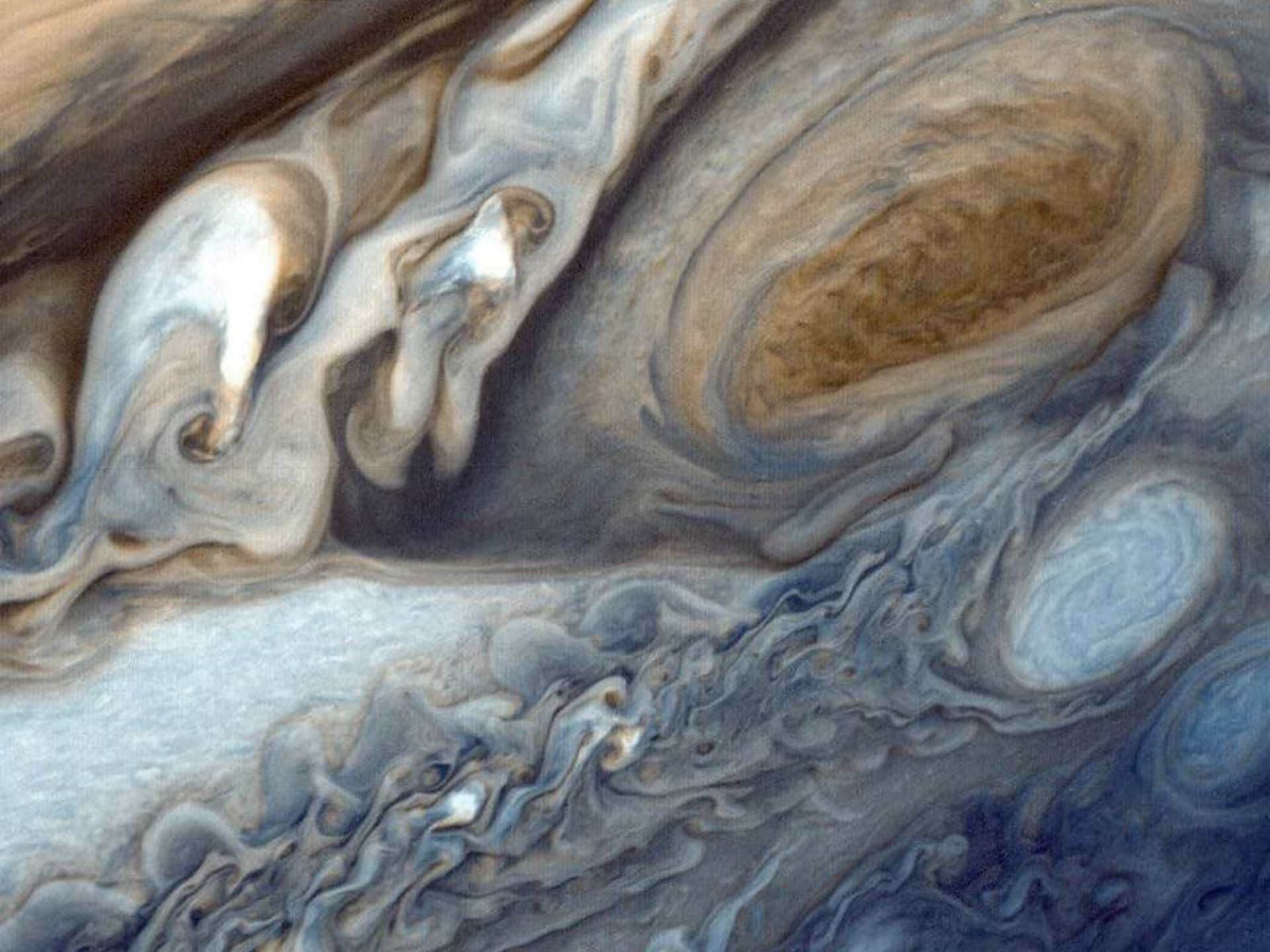
ze sondy
Juno, 2017

jižní pól,
Cassini
(2000)

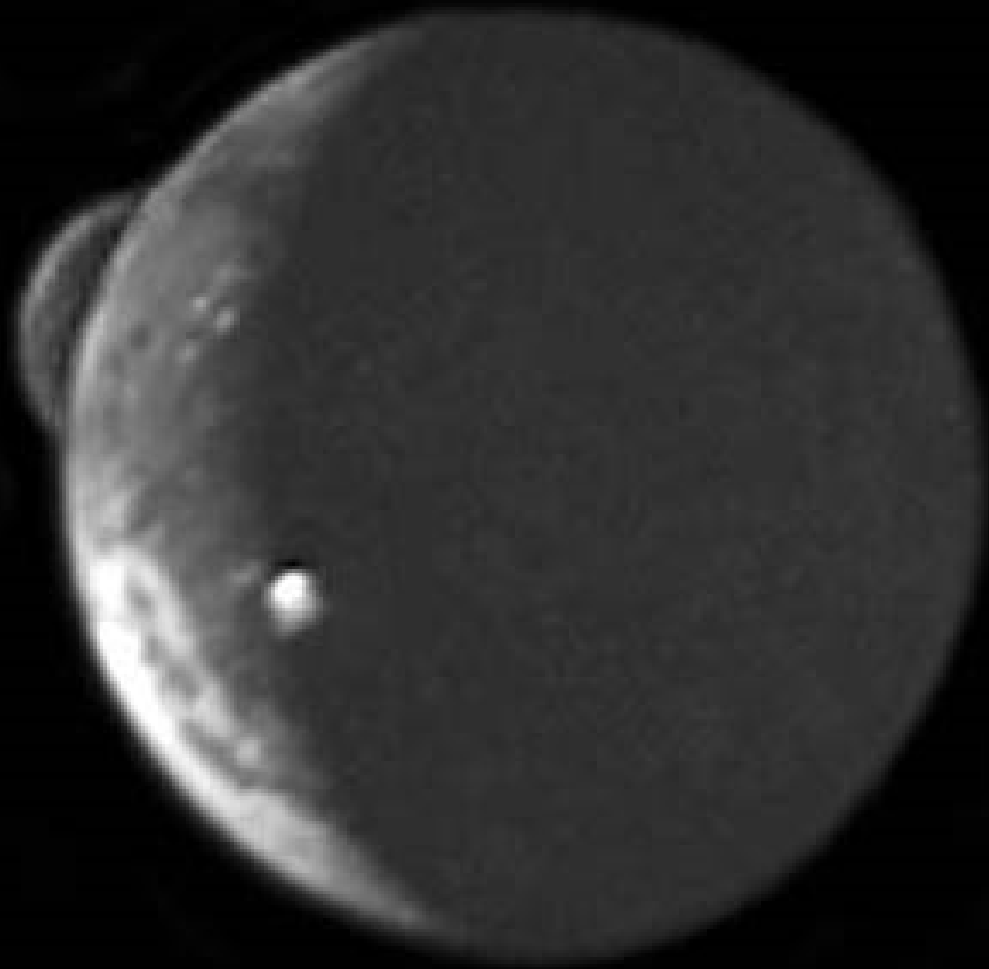


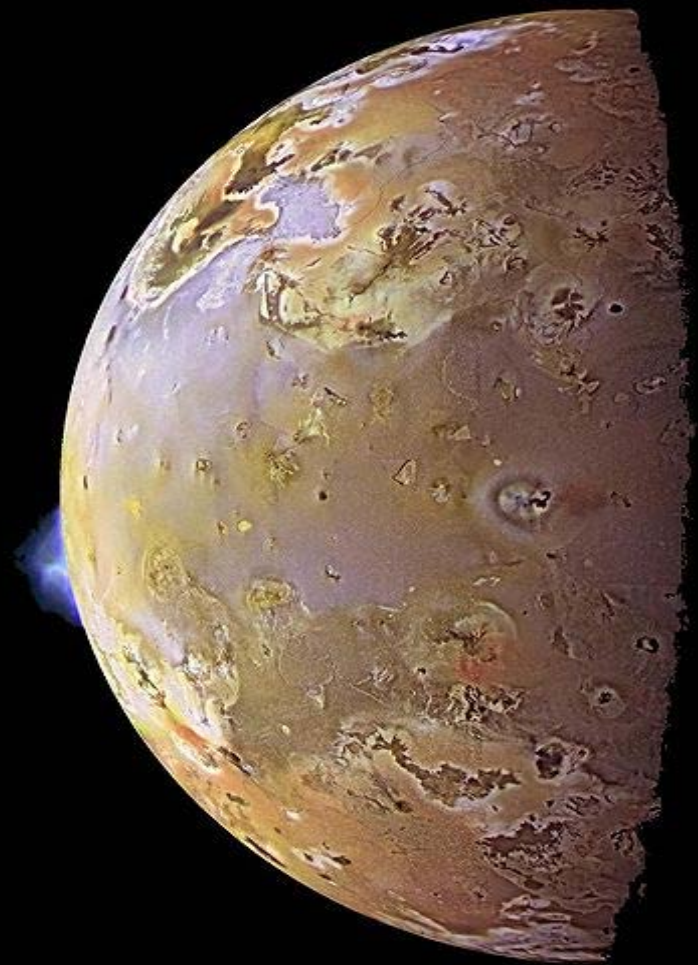
jižní pól,
Juno
2017





Io



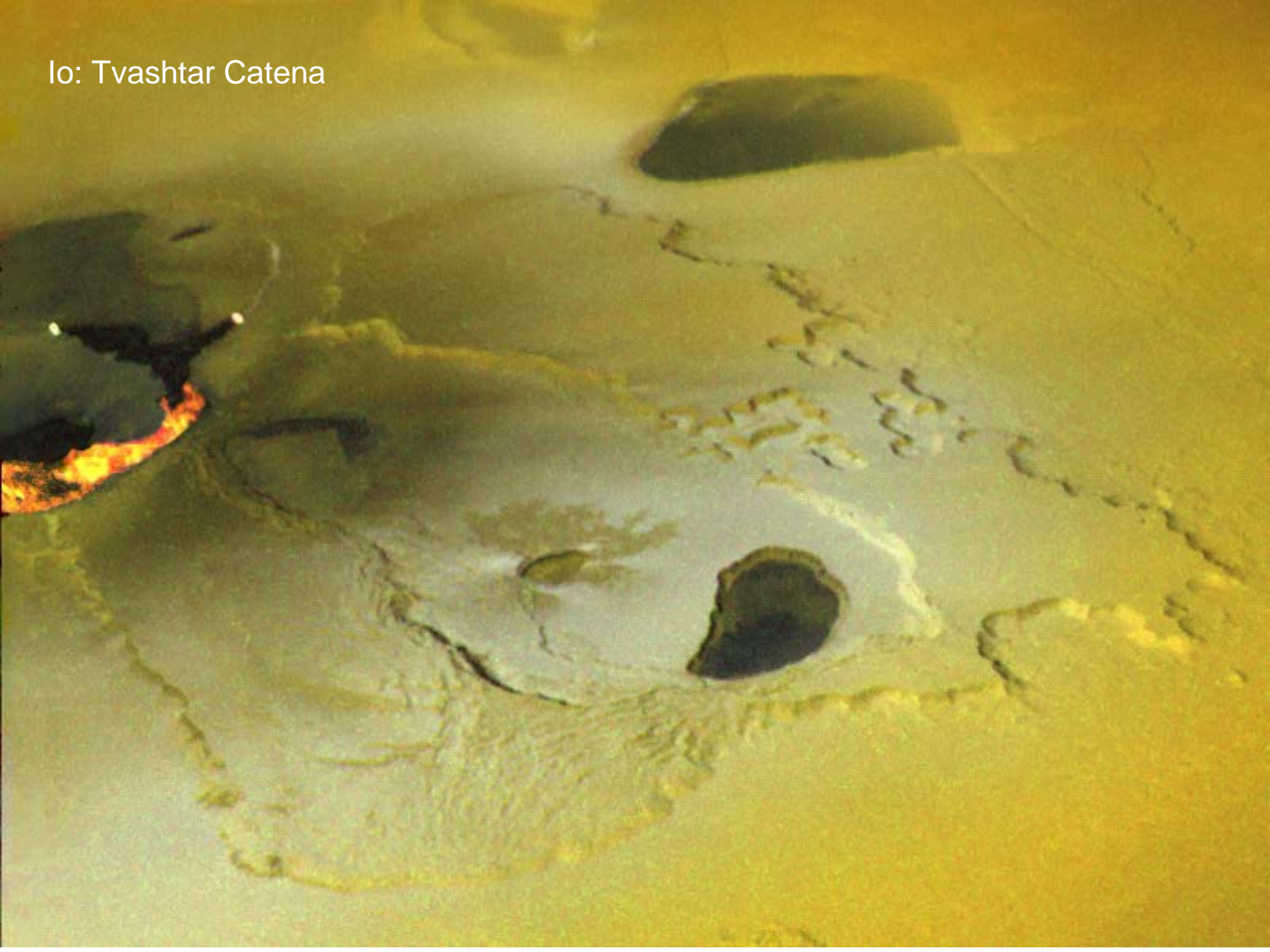


ze sondy Galileo

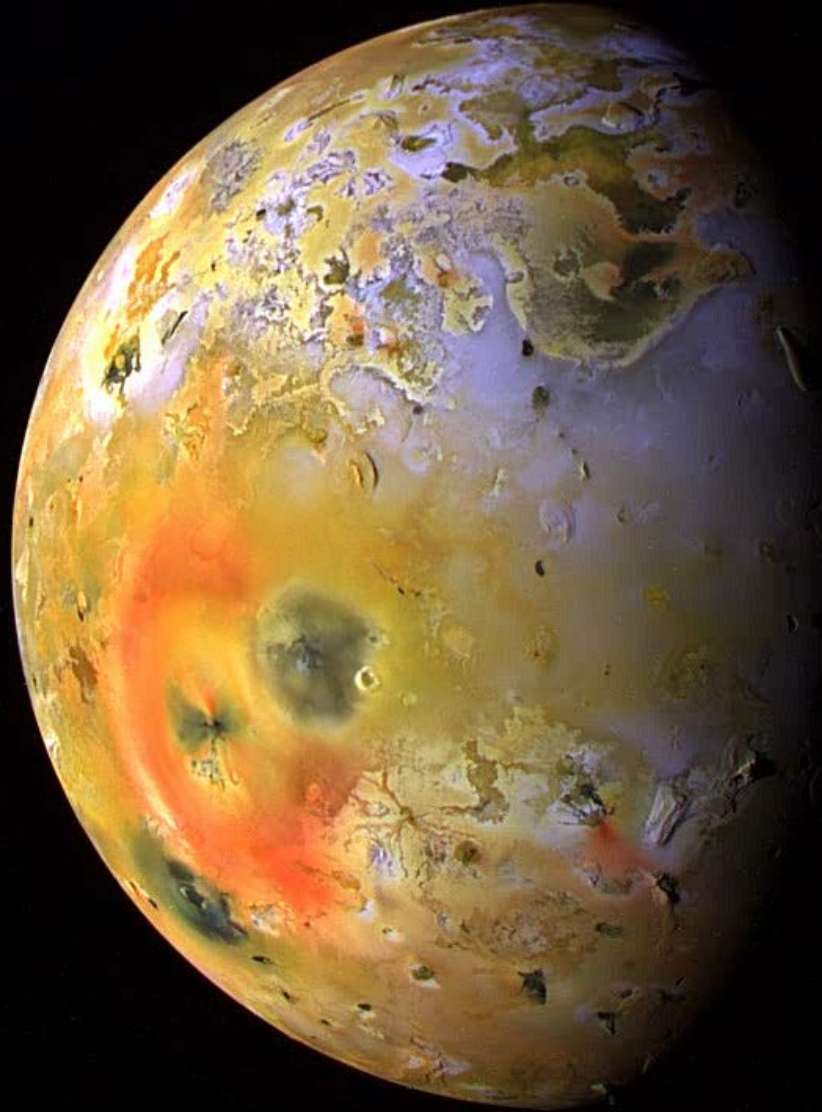


složeno ze snímků
sondy New Horizon
v r. 2008

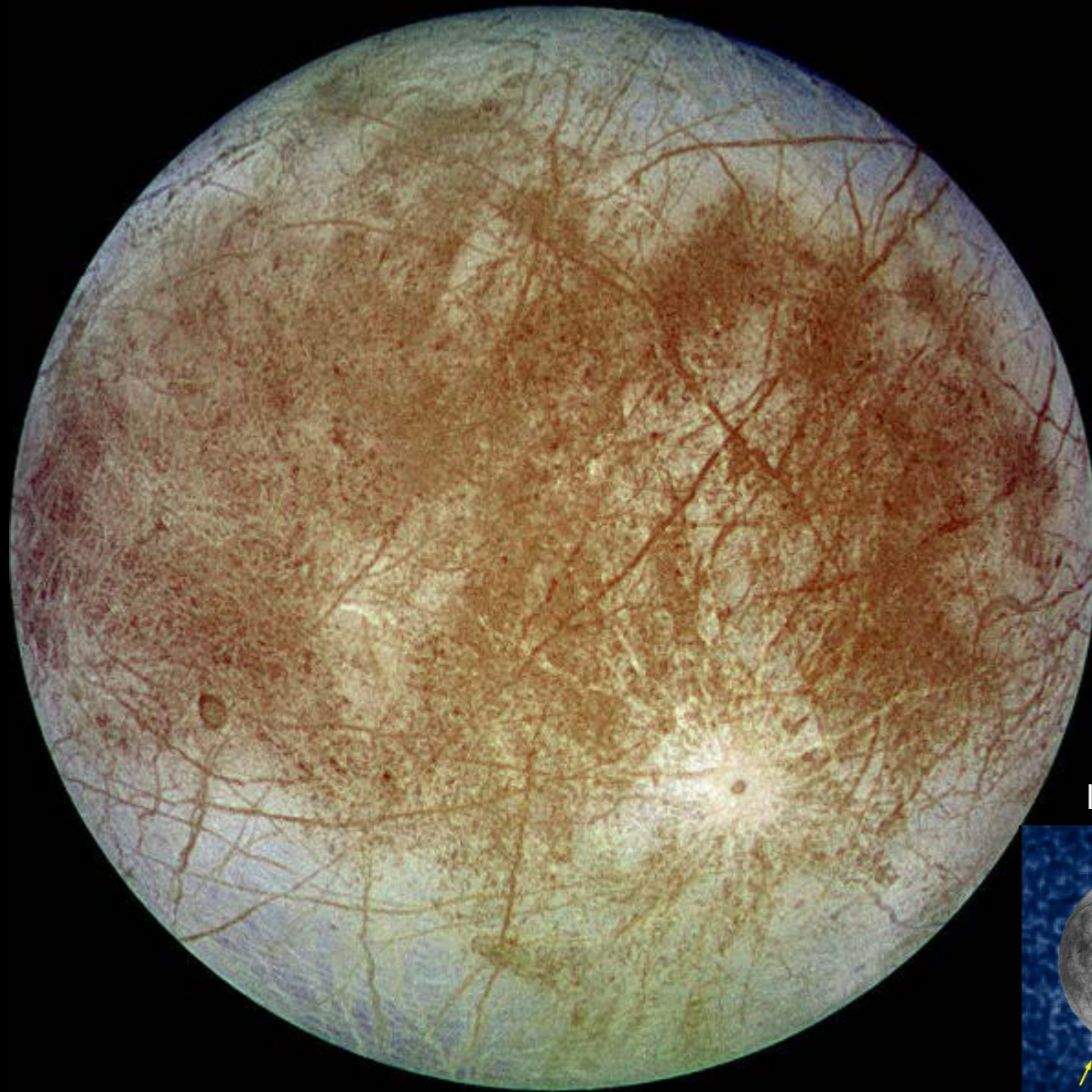
Io: Tvashtar Catena



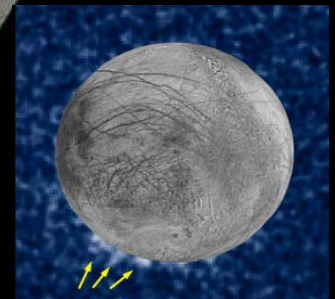
Io: Pelé



Europa



ledové gejzíry



Ganymed



Callisto



Saturn

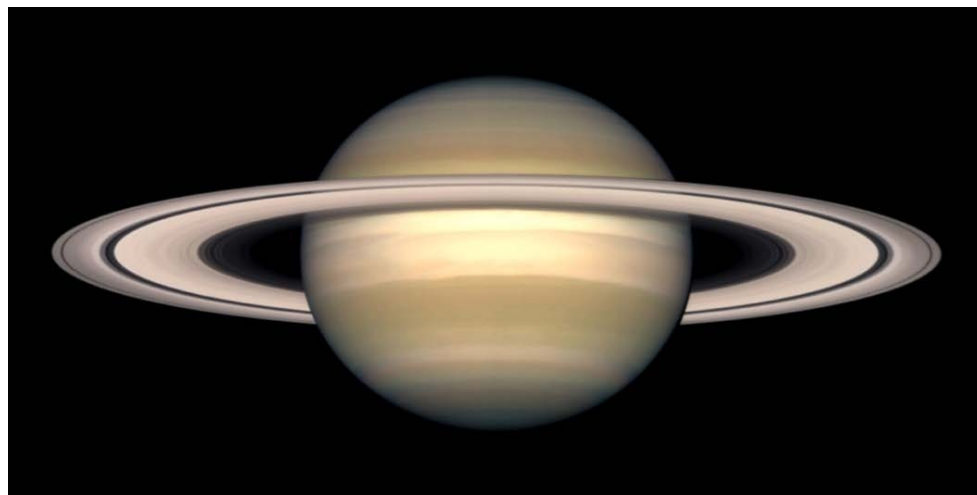
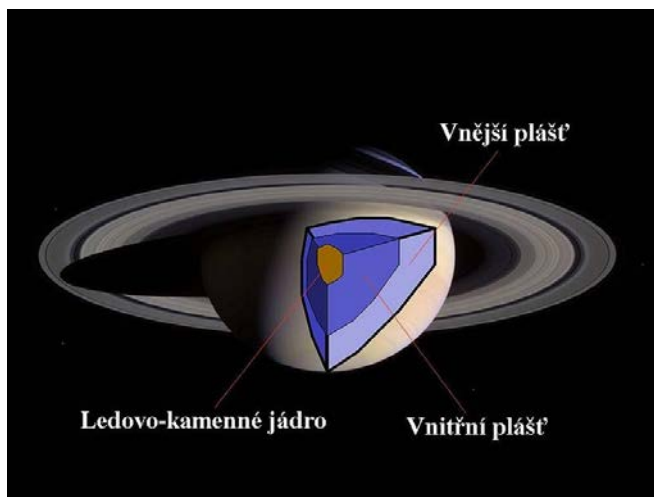
Složení – vodík, helium => velmi malá hustota! – $0,69 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

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

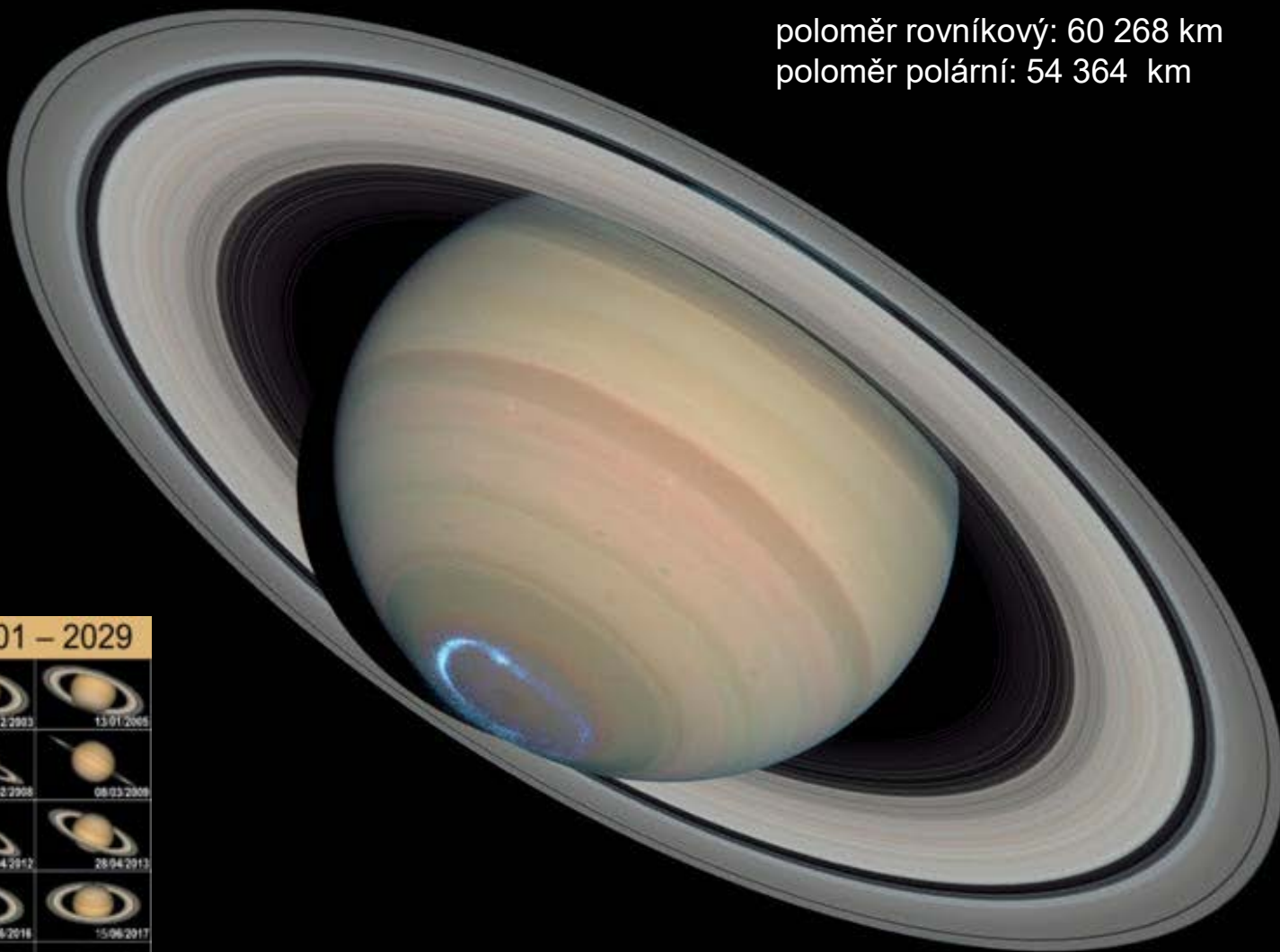
Atmosféra - není tolik výrazných detailů jako u Jupiteru (ale proudění plynů mnohem rychlejší než na Jupiteru až 500 m/s!).

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. 2021 82); největší - Titan s relativně hustou atmosférou (srovnatelnou s hustotou zemské).



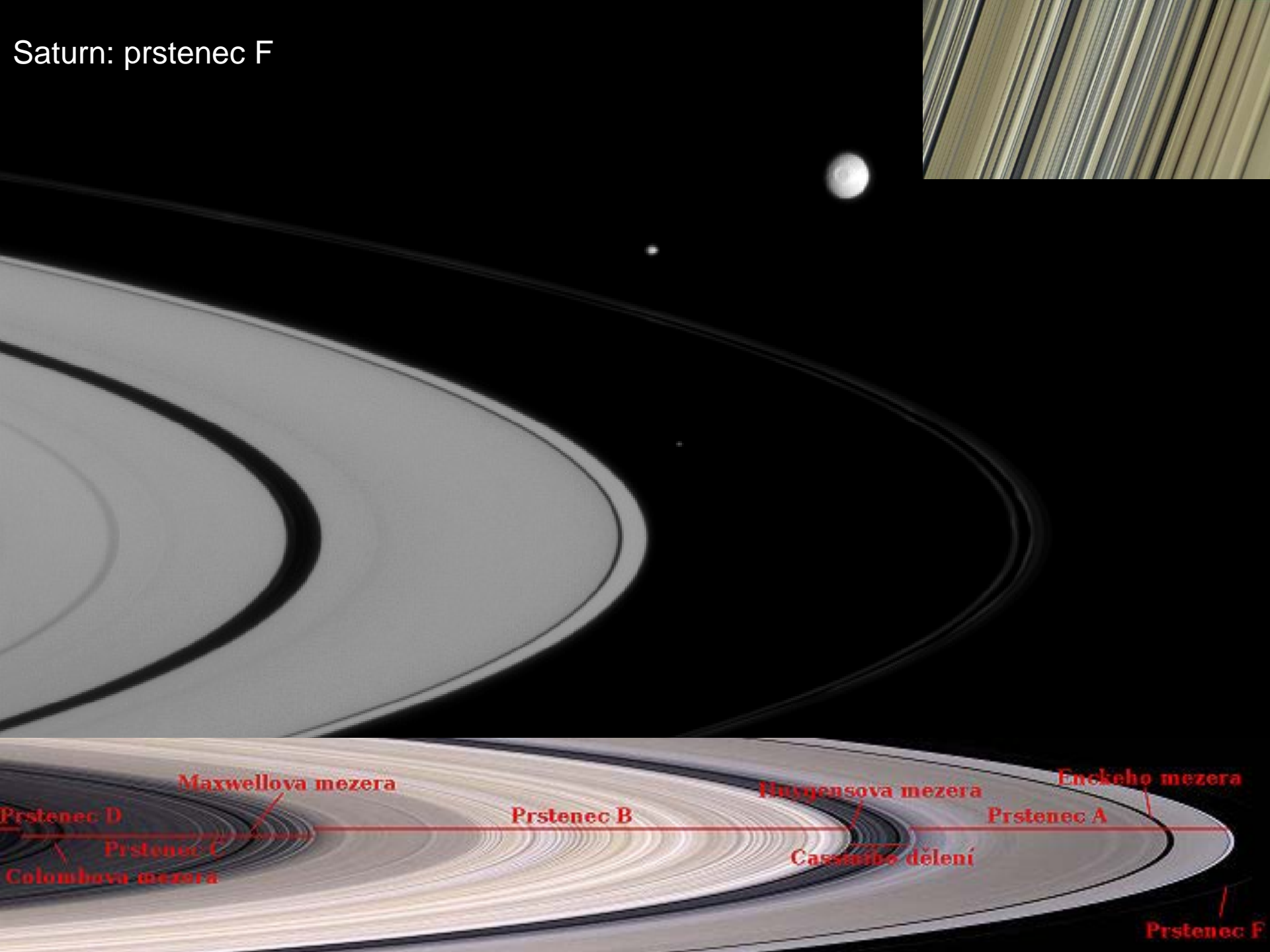
poloměr rovníkový: 60 268 km
poloměr polární: 54 364 km



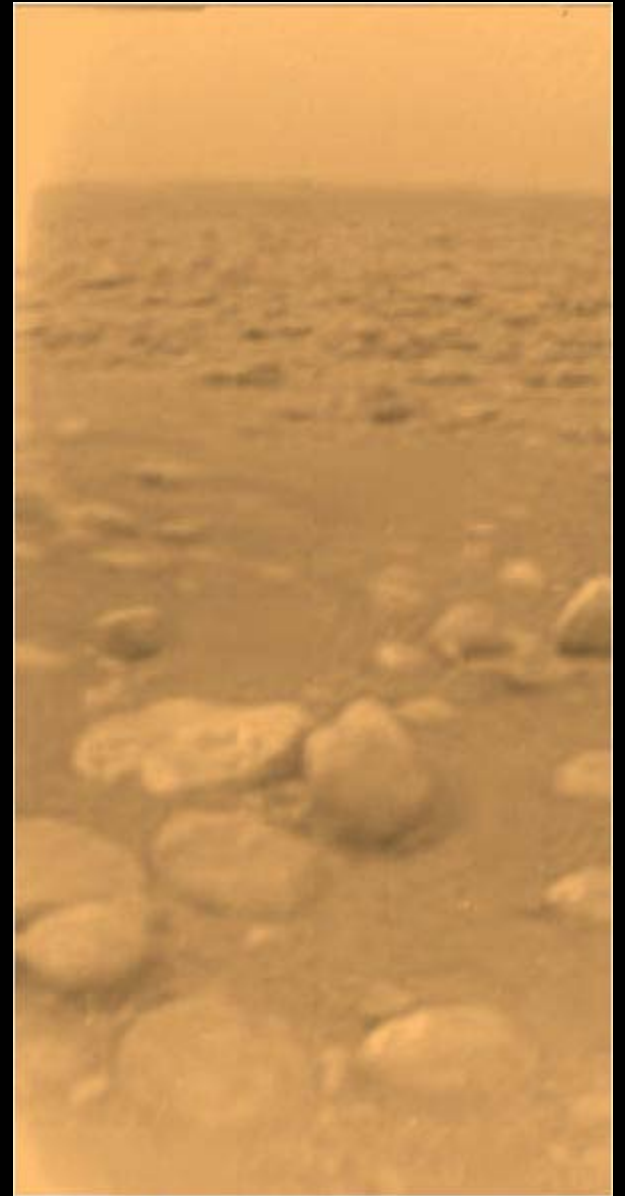
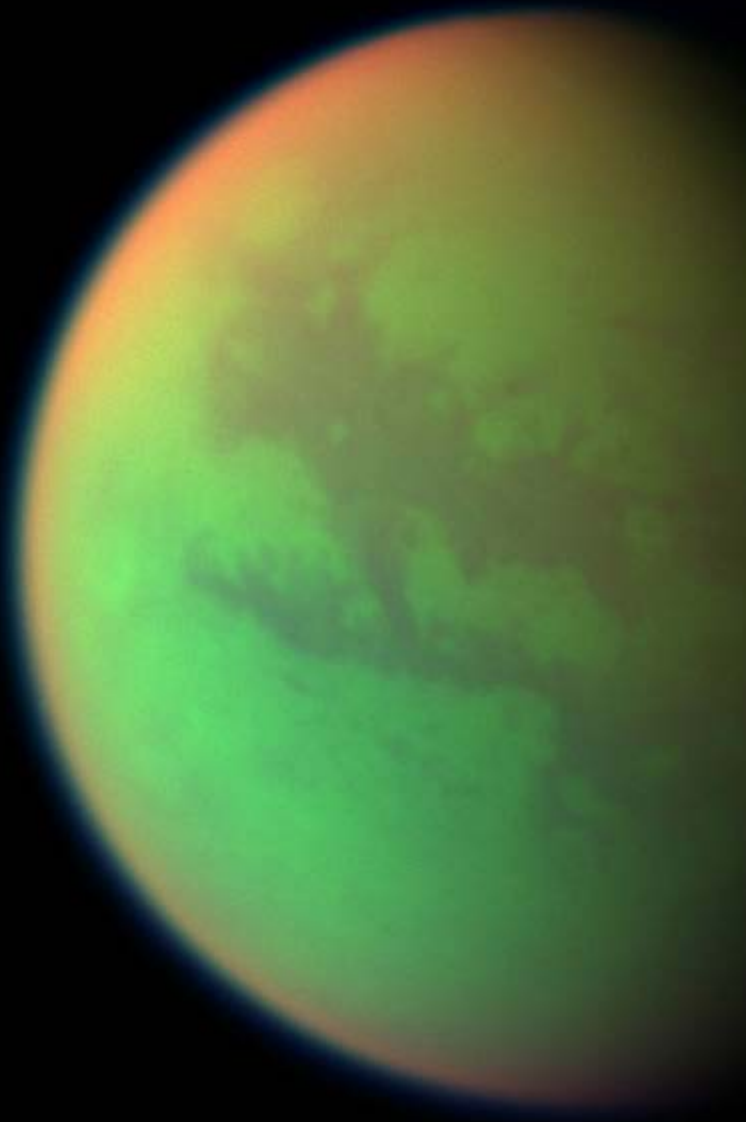
Opozice Saturnu: 2001 – 2029

 03.12.2001	 17.12.2002	 31.12.2003	 13.01.2005
 27.01.2004	 10.02.2007	 24.02.2008	 08.03.2009
 22.03.2010	 03.04.2011	 15.04.2012	 28.04.2013
 05.10.2014	 23.05.2015	 03.06.2016	 15.06.2017
 27.06.2018	 09.07.2019	 20.07.2020	 02.08.2021
 14.08.2022	 27.08.2023	 08.09.2024	 21.09.2025
 04.10.2026	 18.10.2027	 30.10.2028	 13.11.2029

Saturn: prstenec F

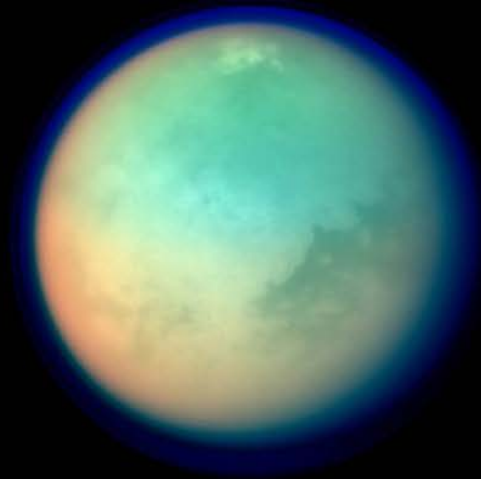


Titan

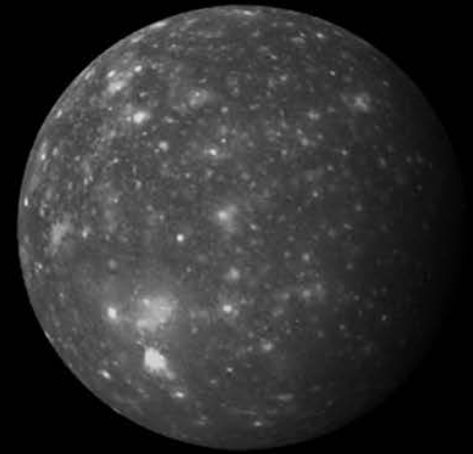




GANYMED



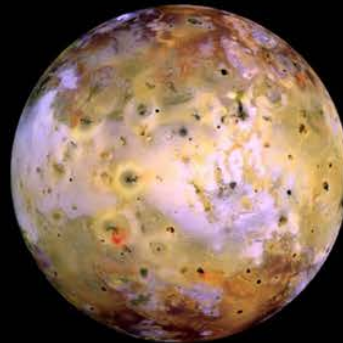
TITAN



MERKUR



CALLISTO

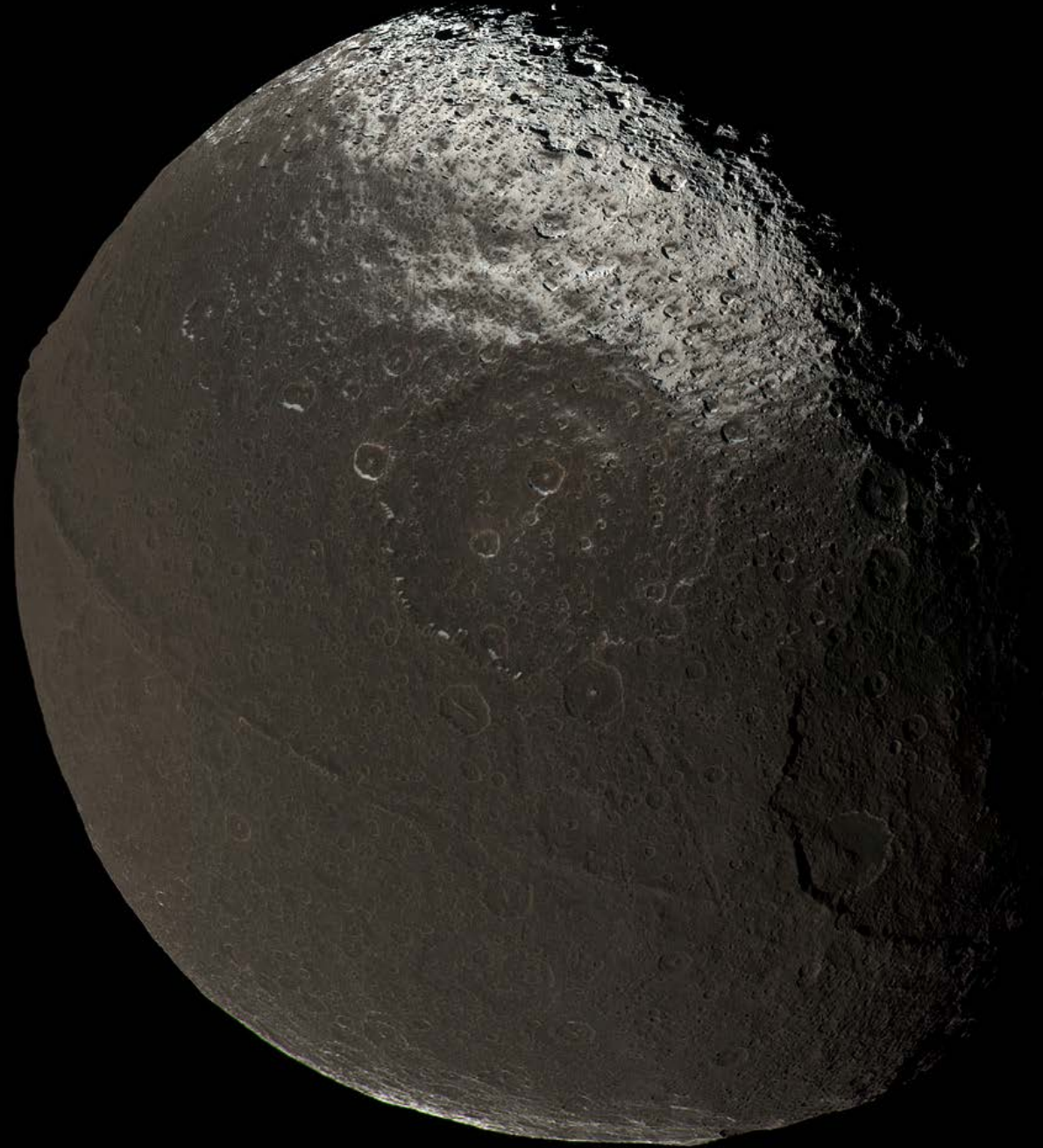


IÓ



MĚSÍC

Japetus



Tethys



Uran

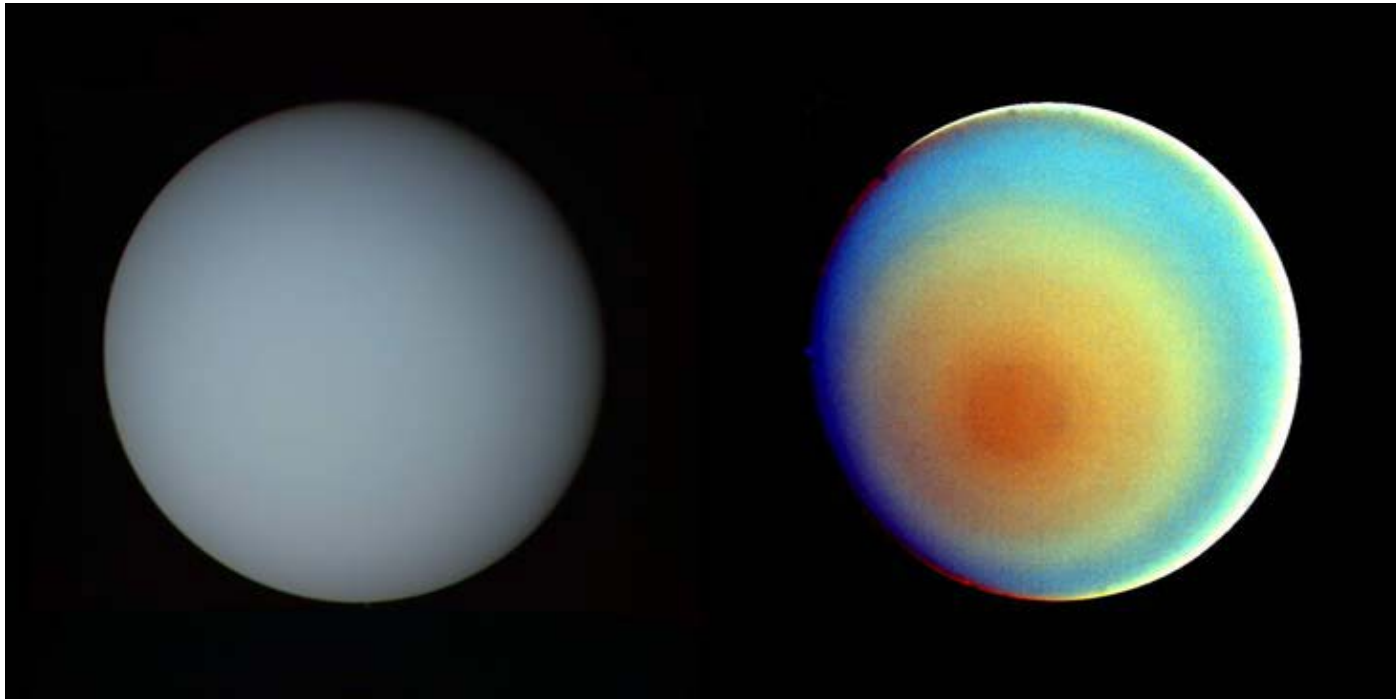
Objev - 13. března 1781 William Herschel

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)

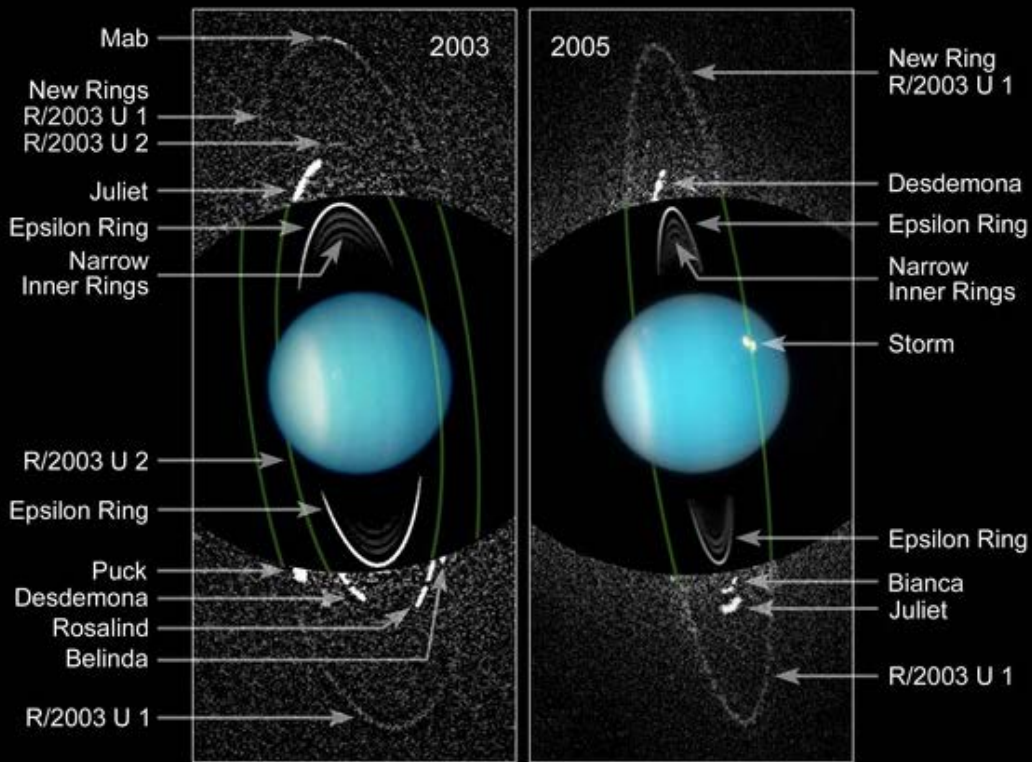
Rotace – rotační osa téměř v rovině oběhu => oblaka rotují rychleji než jádro planety; rotace diferenciální - až 720 km/h

Okolí - prstence (objev 10. 3. 1977) při pozorování zákrytu jedné hvězdy Uranem
- 27 družic (2021) - např. velmi zajímavá Miranda



poloměr: 25 559 km

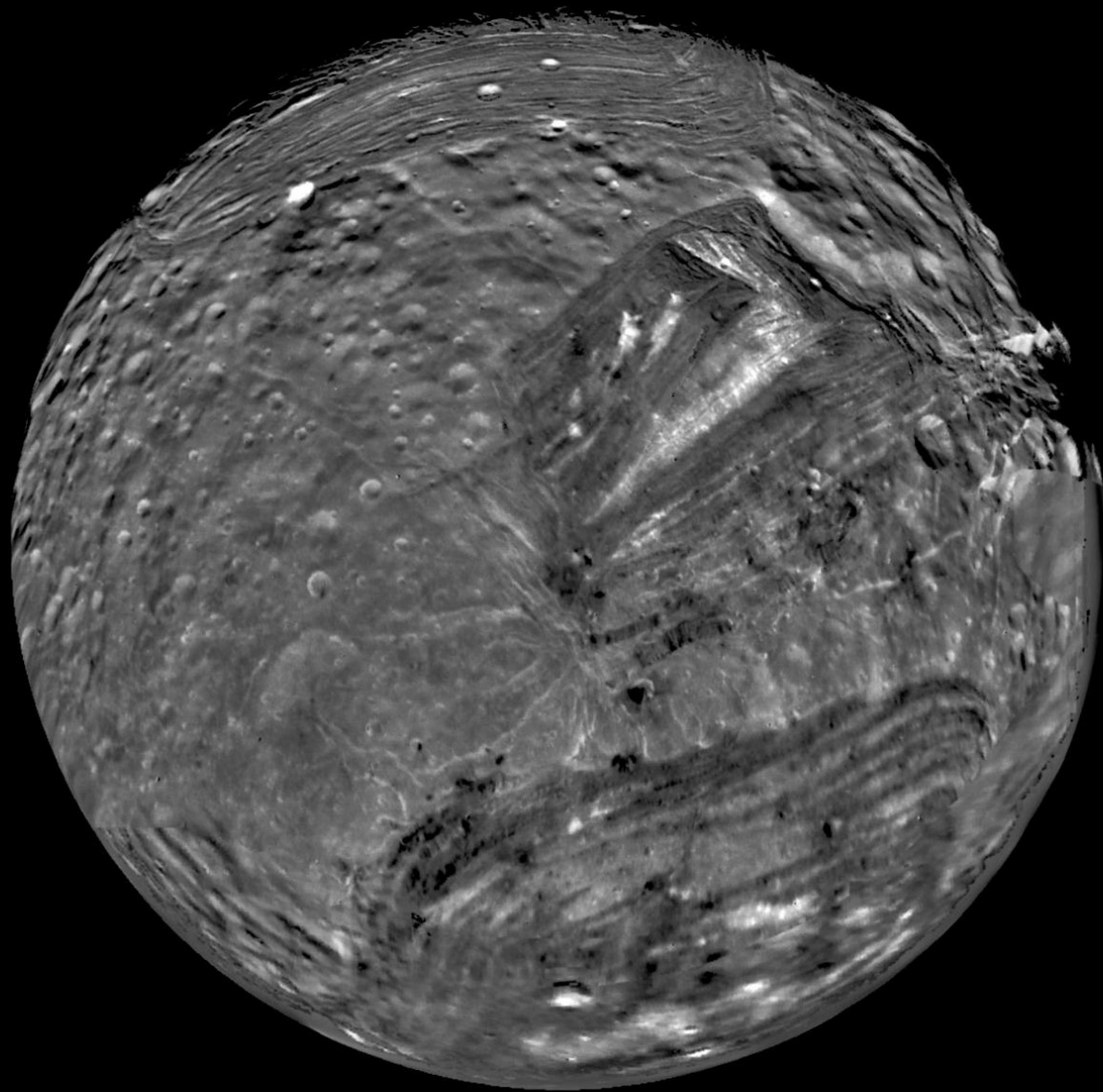
Uranus ■ HST ACS/HRC



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

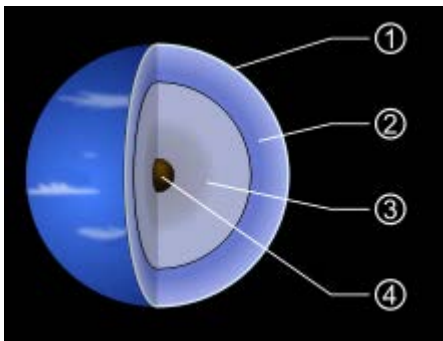
Průzkum – jediná sonda Voyager 2, HST

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

Diferenciální rotace – 16 hodin (mg. pole), 18 h (rovníkové oblasti)

Doba oběhu – 165 let

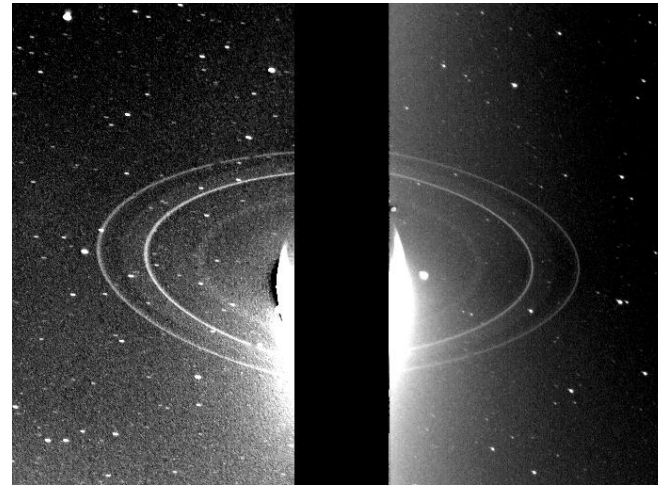
Okolí – 5 prstenců
– 14 měsíců (2021)



- 1 – horní vrstva atmosféry, vrcholky mraků
- 2 – atmosféra složená z H, He a metanu
- 3 – plášť tvořený H₂O, čpavkem a ledem metanu
- 4 – kamenoledové jádro

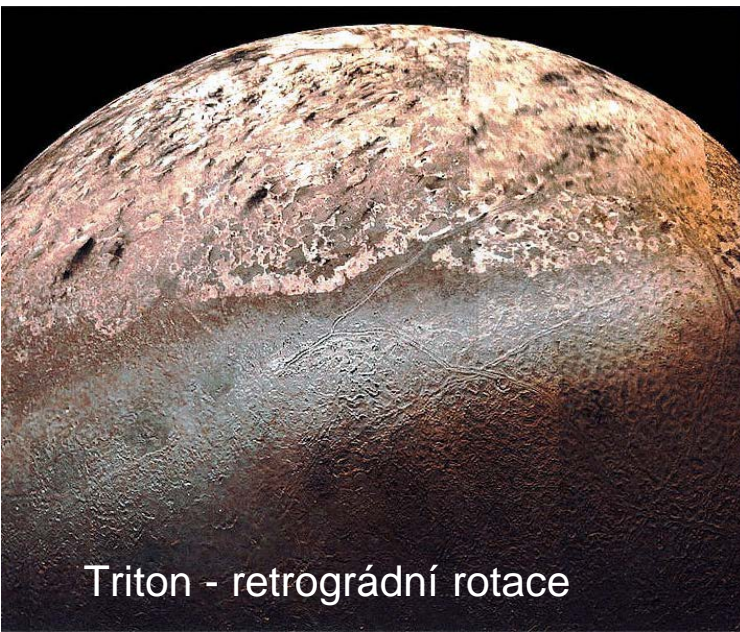


HST – snímky k výročí dokončení 1. oběhu od objevu (2011)

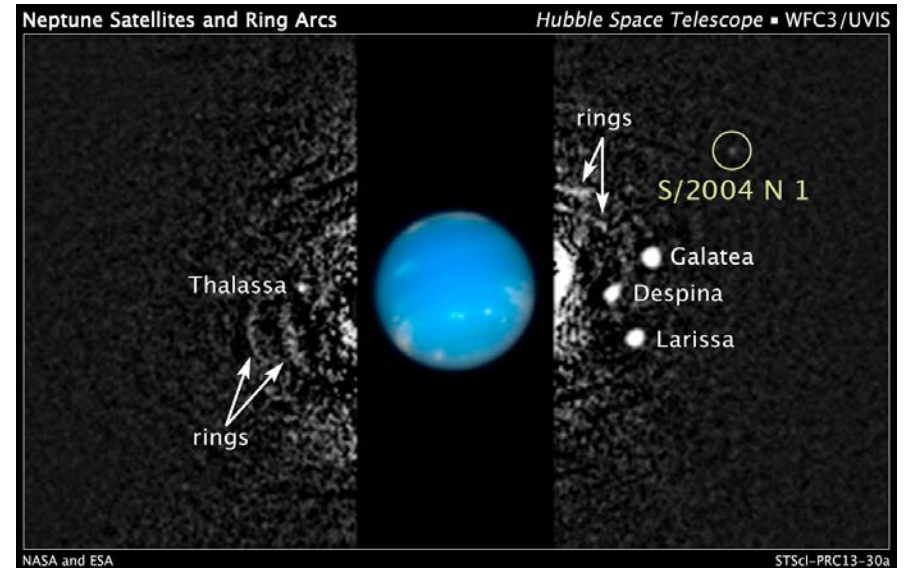


prstence Neptunu

14 měsíců (2021) – největší Triton



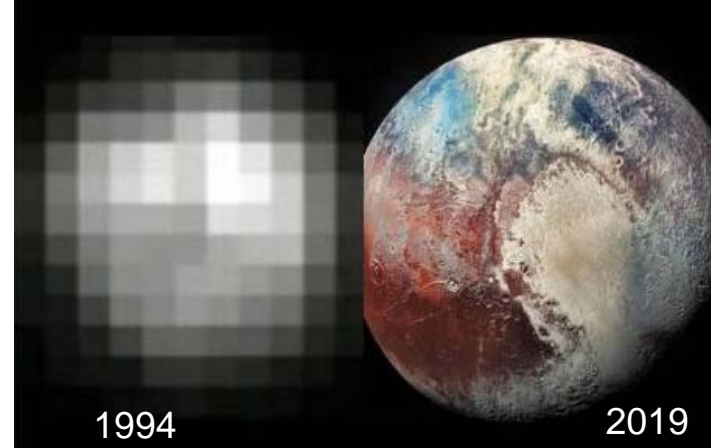
Triton - retrográdní rotace



Pluto

trpasličí planeta!

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



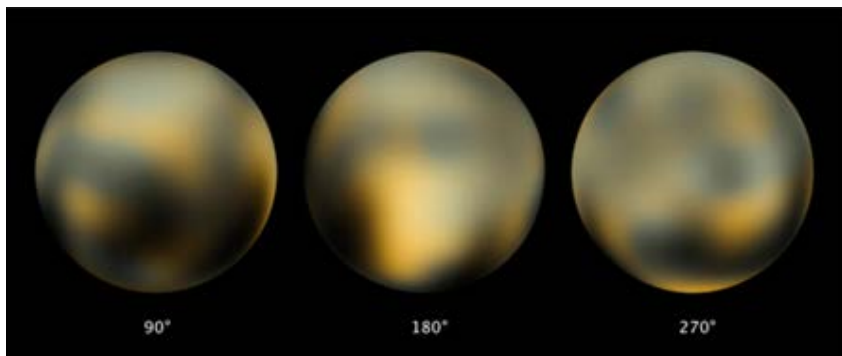
rozměry, stavbou, trajektorií i vznikem patří mezi tělesa tzv. *Kuiperova pásu*

trajektorie – velmi výstředná => opakované zahřívání a ochlazování povrchu
(podobně jako u komet) => poblíž přísluní vzniká plynný obal sublimací zmrzlých
plynů – N, CO₂, CH₄ (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



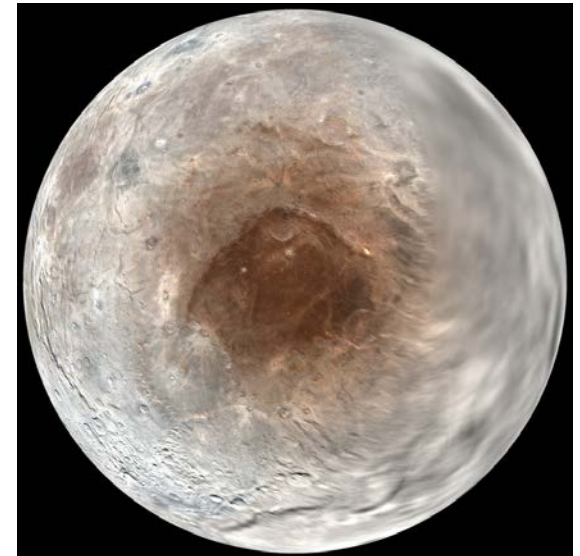
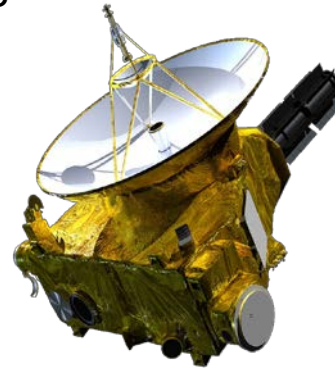
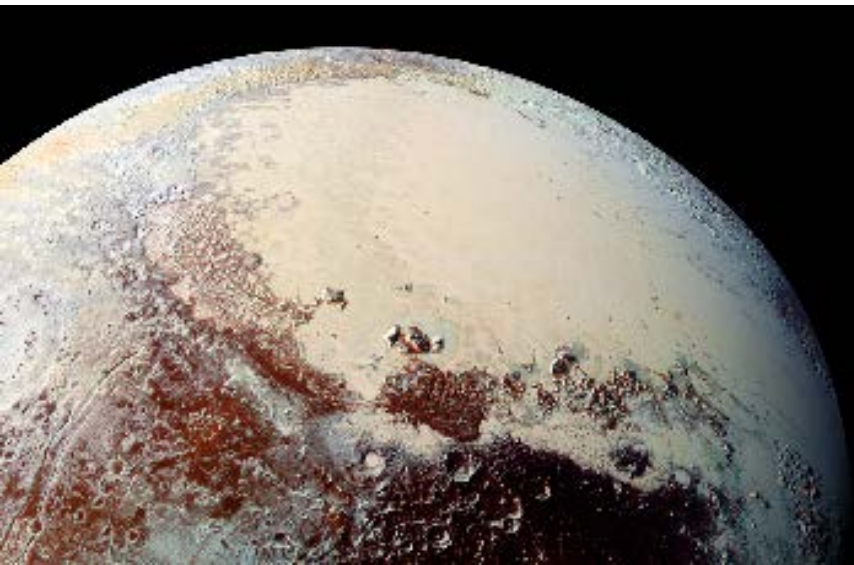
New Horizons

- vypuštěna v r. 2006, průlet kolem Pluta v r. 2015
- spousta nových snímků a objevů
- 1.1.2019 průlet kolem planetky 486958 Arrokoth (2014 MU₆₉; Ultima Thule) (v Kuiperově pásu)
- 2020 výběr cílů pro pokračování mise

Tenzing Montes, Pluto



Pluto

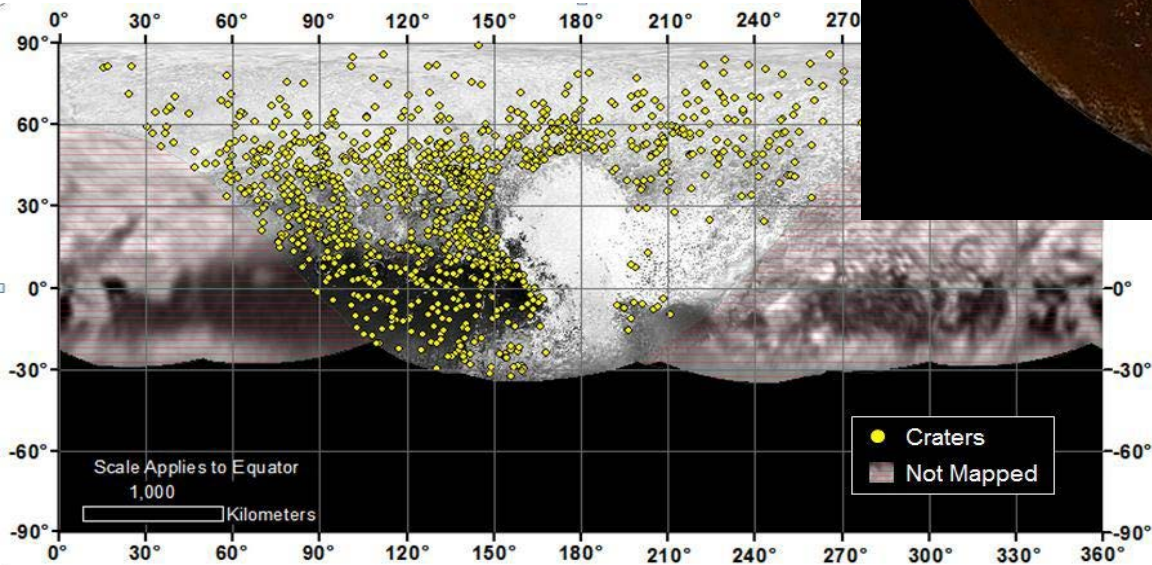
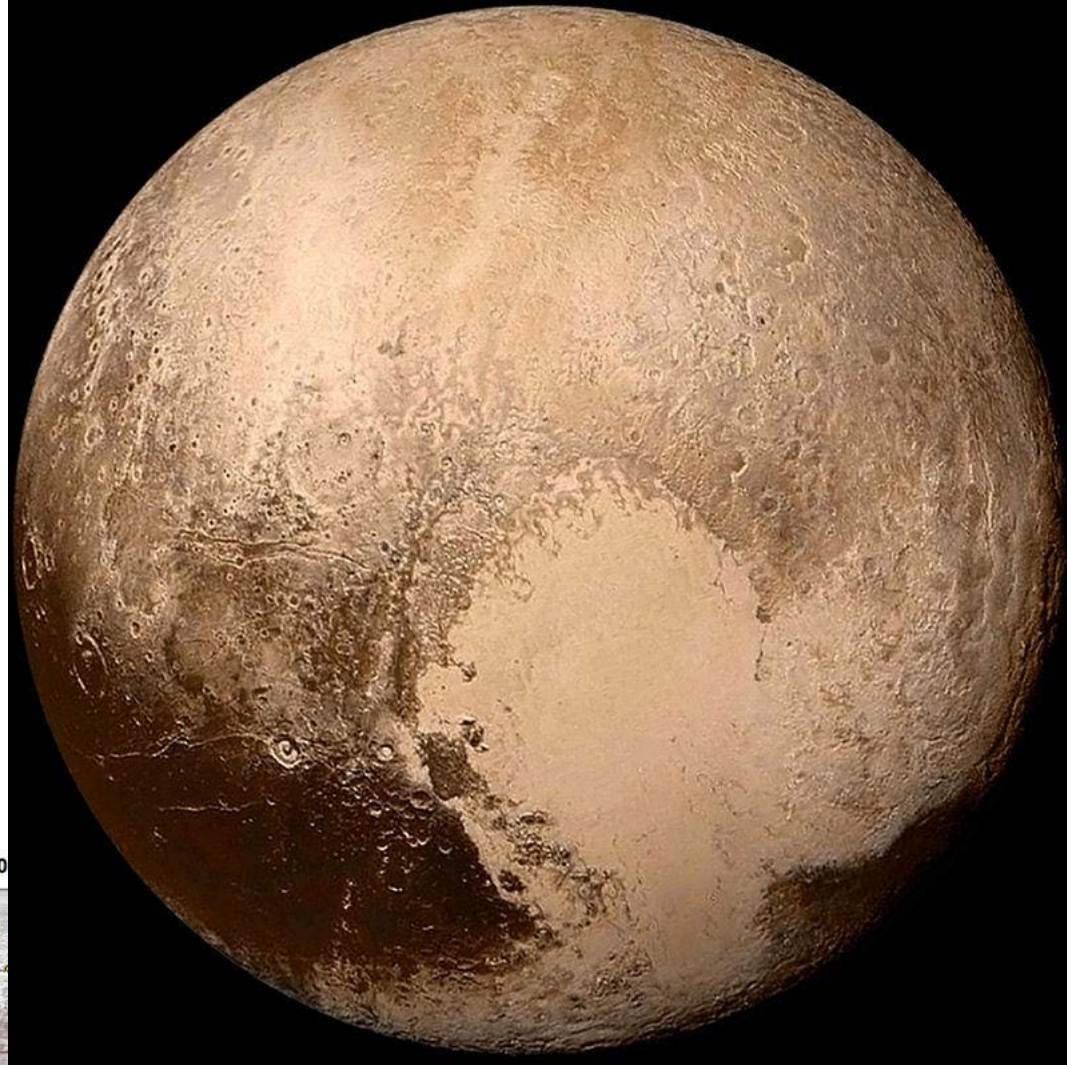


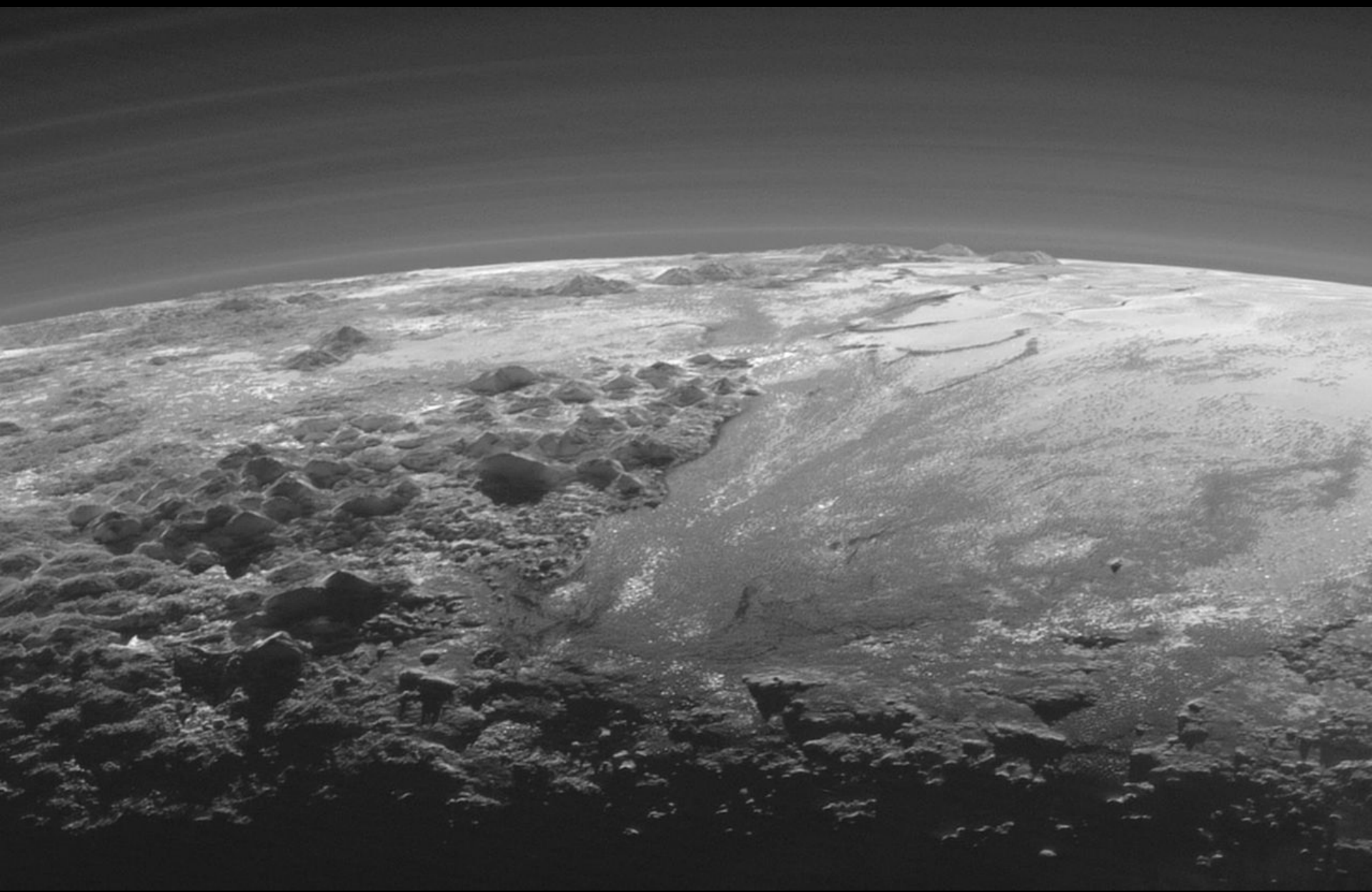
Charon

Pluto

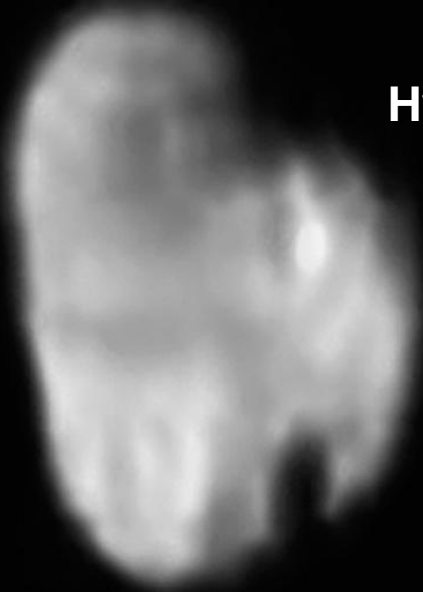
Nové objevy:

- 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

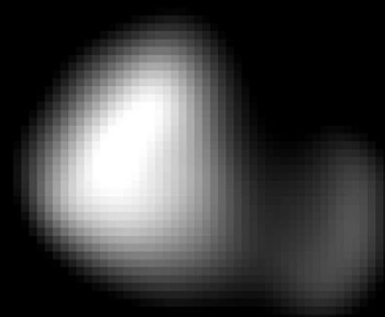




Hydra



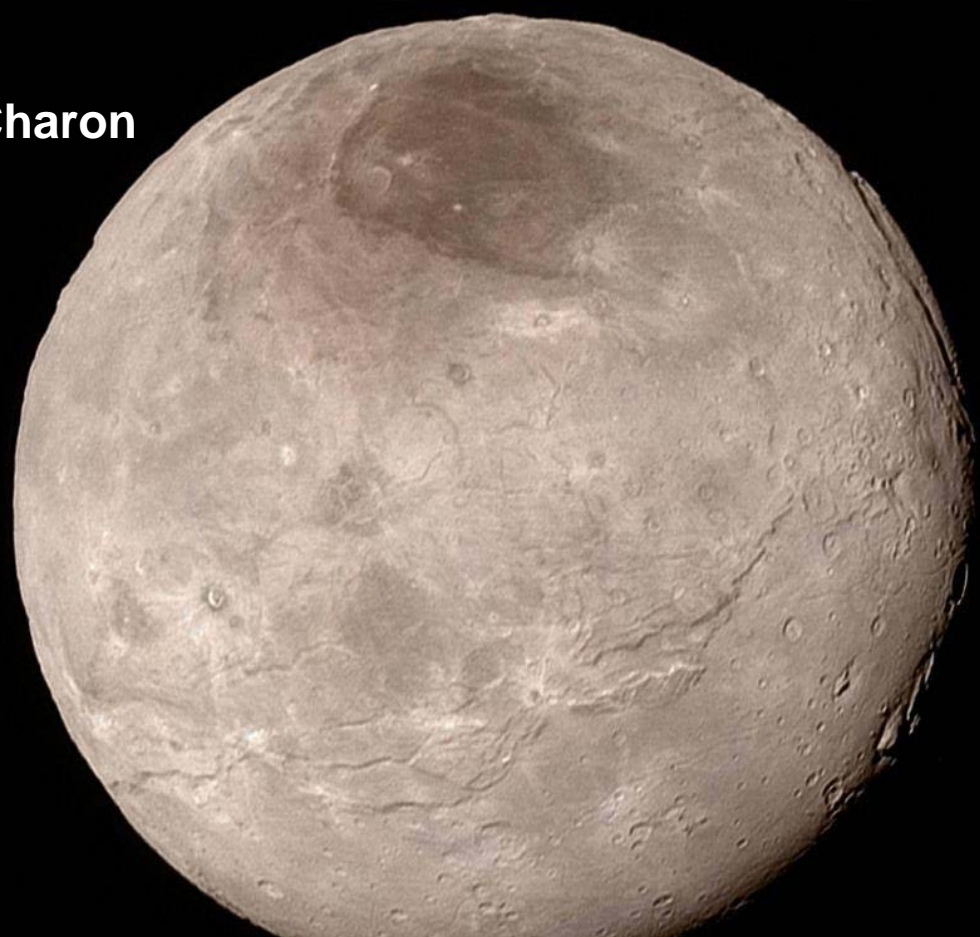
Kerberos



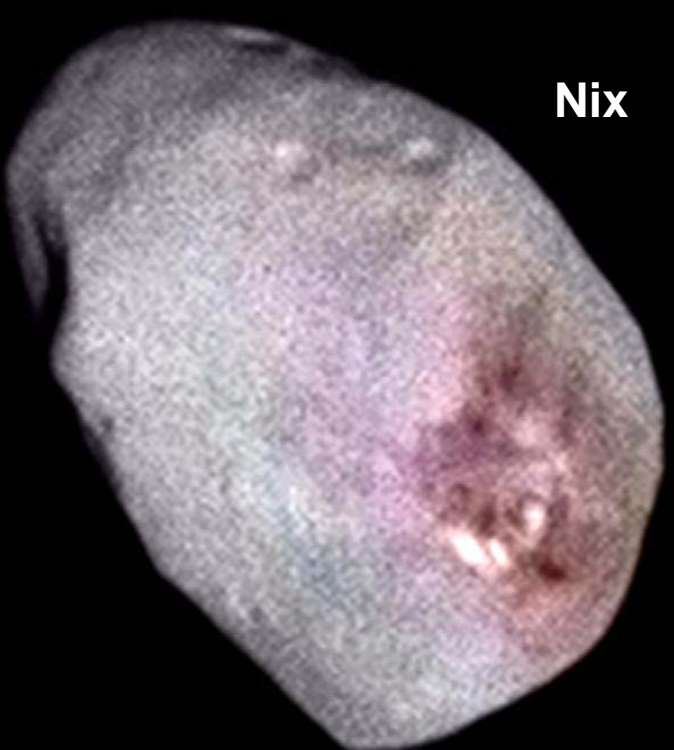
Styx



Charon

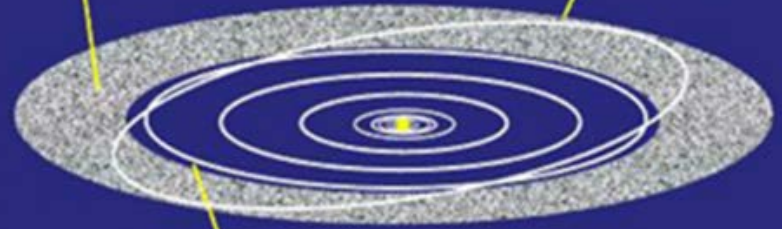


Nix



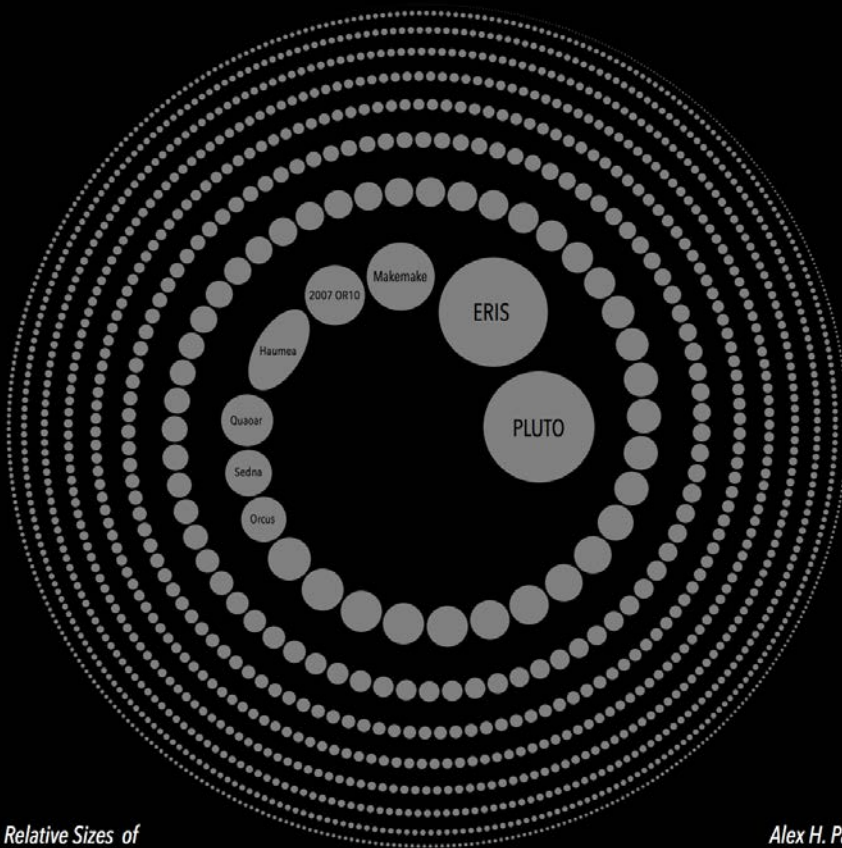
Trans-Neptunian
Asteroid Belt

Pluto's Orbit



Neptune's Orbit

Credit: Johns Hopkins University



The Relative Sizes of
Known Trans-Neptunian Objects

Alex H. Parker
@Alex_Parker