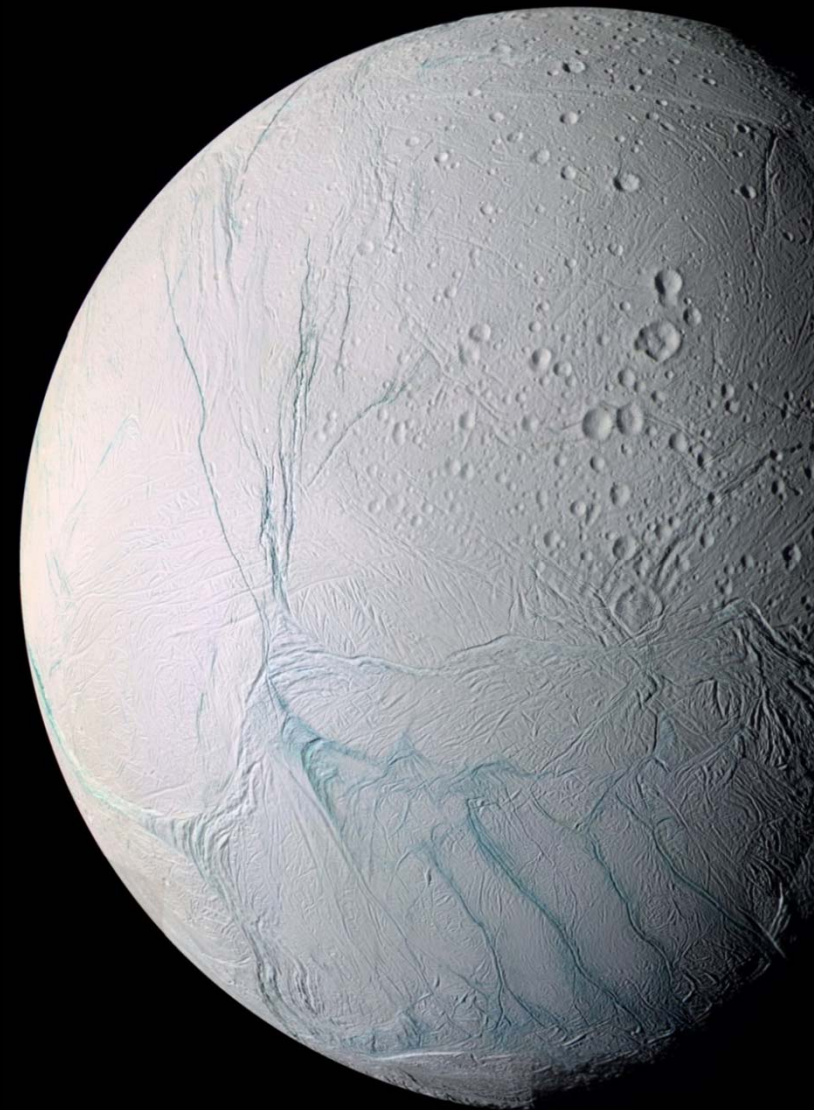


Voda a led ve sluneční soustavě

Ondřej Čadek

Katedra geofyziky
Matematicko-fyzikální fakulta
Univerzity Karlovy

Učená společnost České republiky
10. 4. 2018



Zdroj: JPL/NASA

Extremofilní formy života

Termofilní a hypertermofilní – až 115 °C

Radioresistentní – tolerují vysoké dávky radiace

Halofilní – 37.5% NaCl

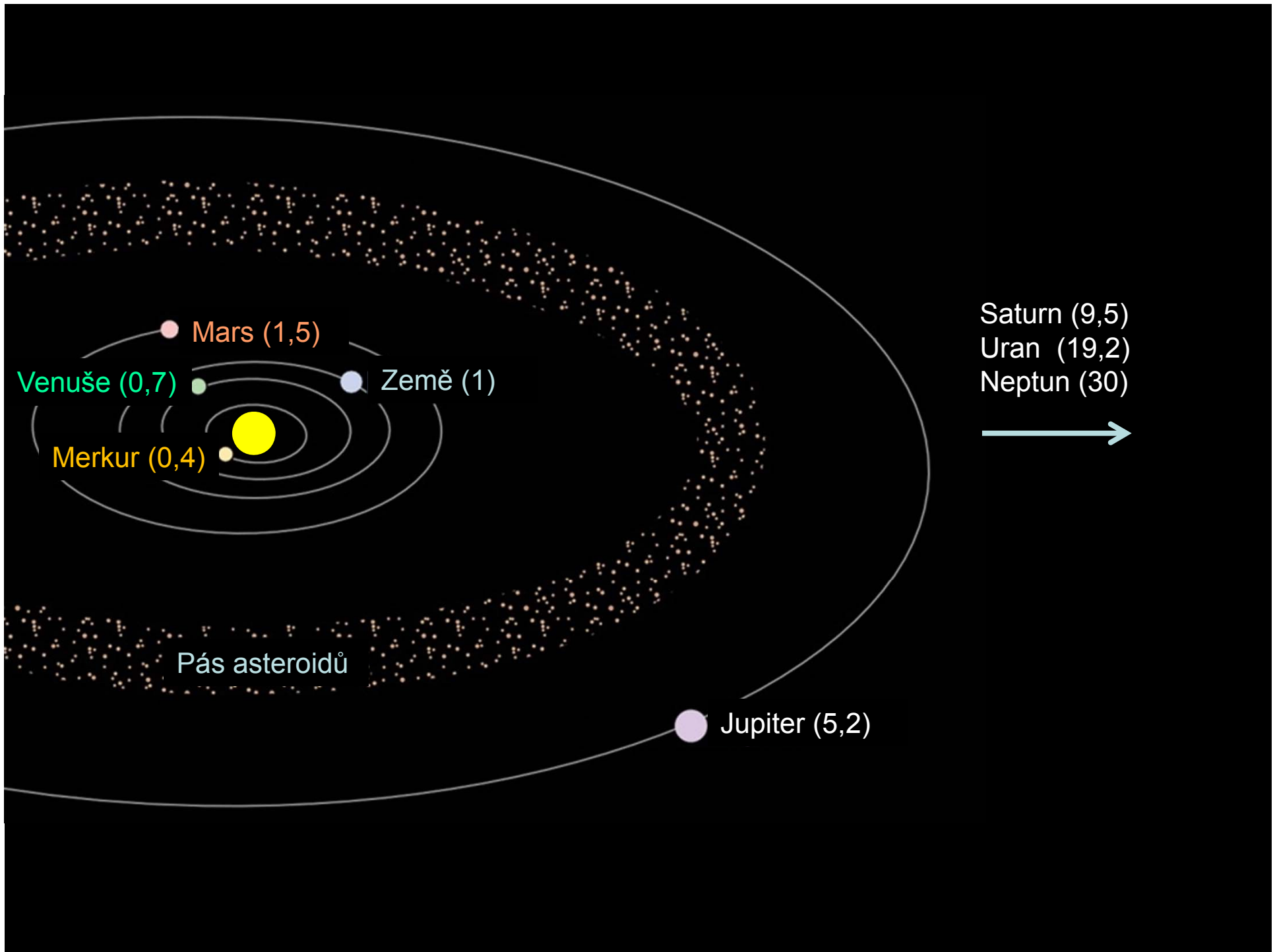
Acidofilní – pH až 0.7

Alkalofilní – pH až 12.5

Piezofilní – tlaky až 130 MPa

Tolerující vakuum

Chemické extrémy (život v CO₂ apod.)



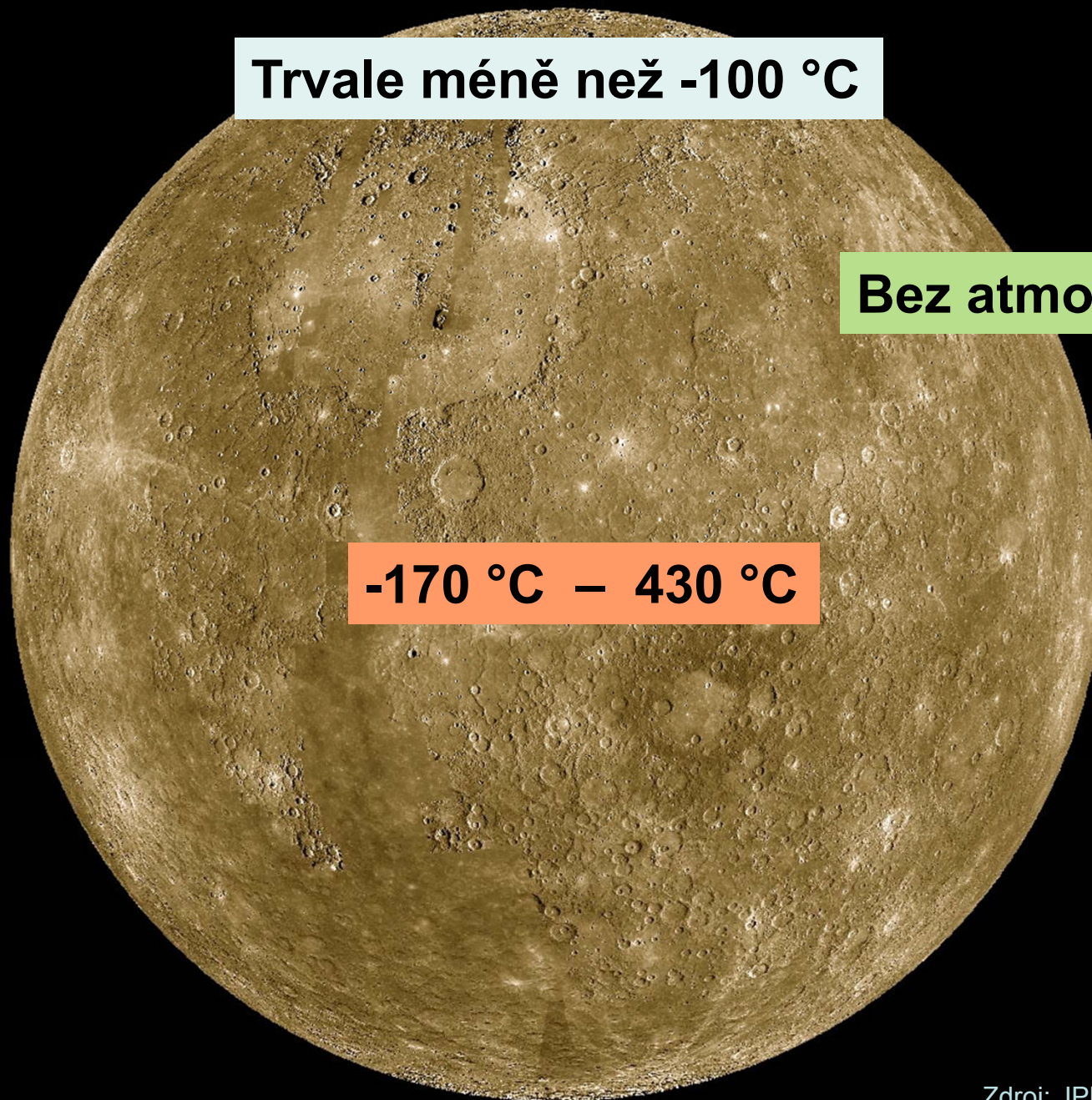
Voda
na
Merkuru?

Trvale méně než -100 °C

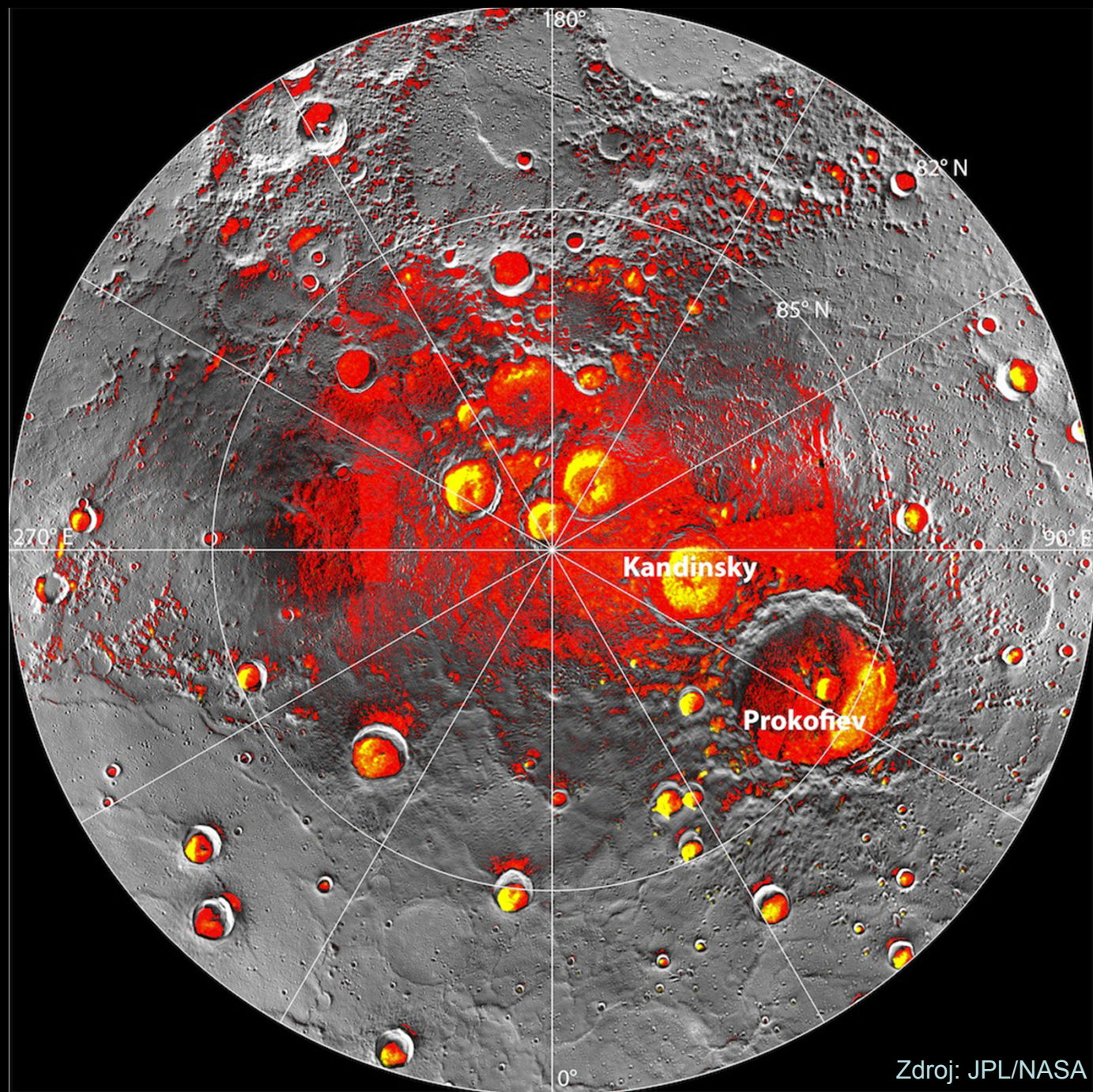
Bez atmosféry

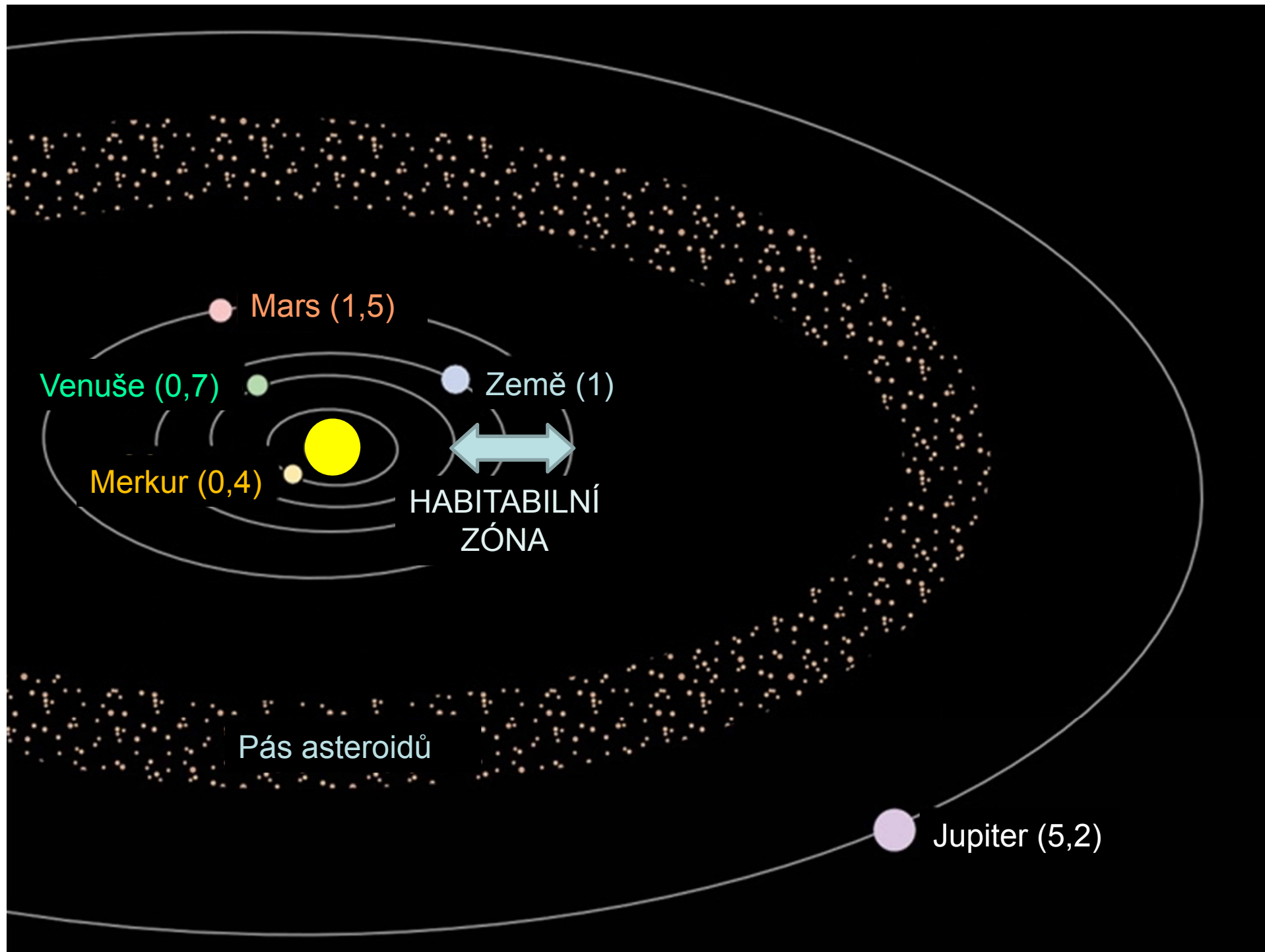
$-170\text{ °C} - 430\text{ °C}$

Zdroj: JPL/NASA

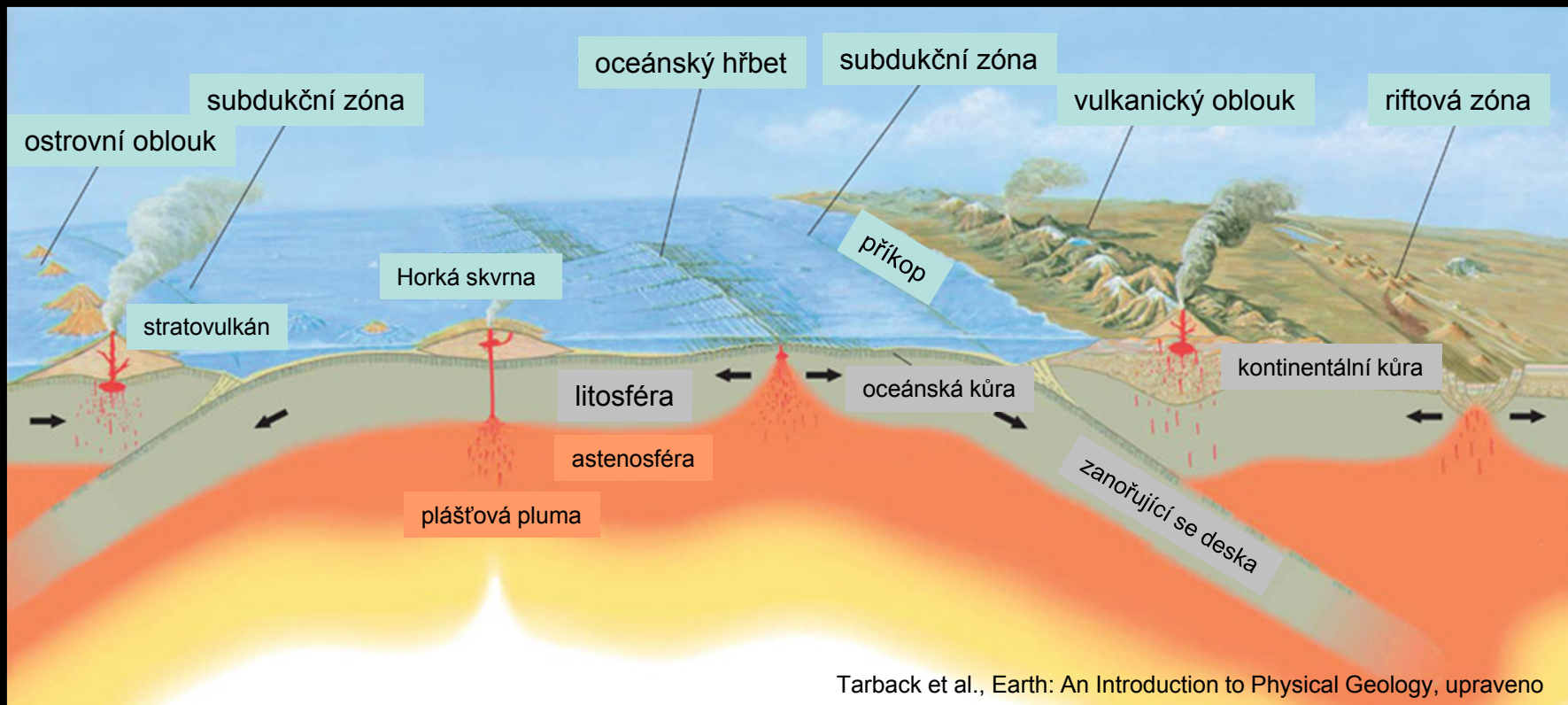


Voda na Merkuru?



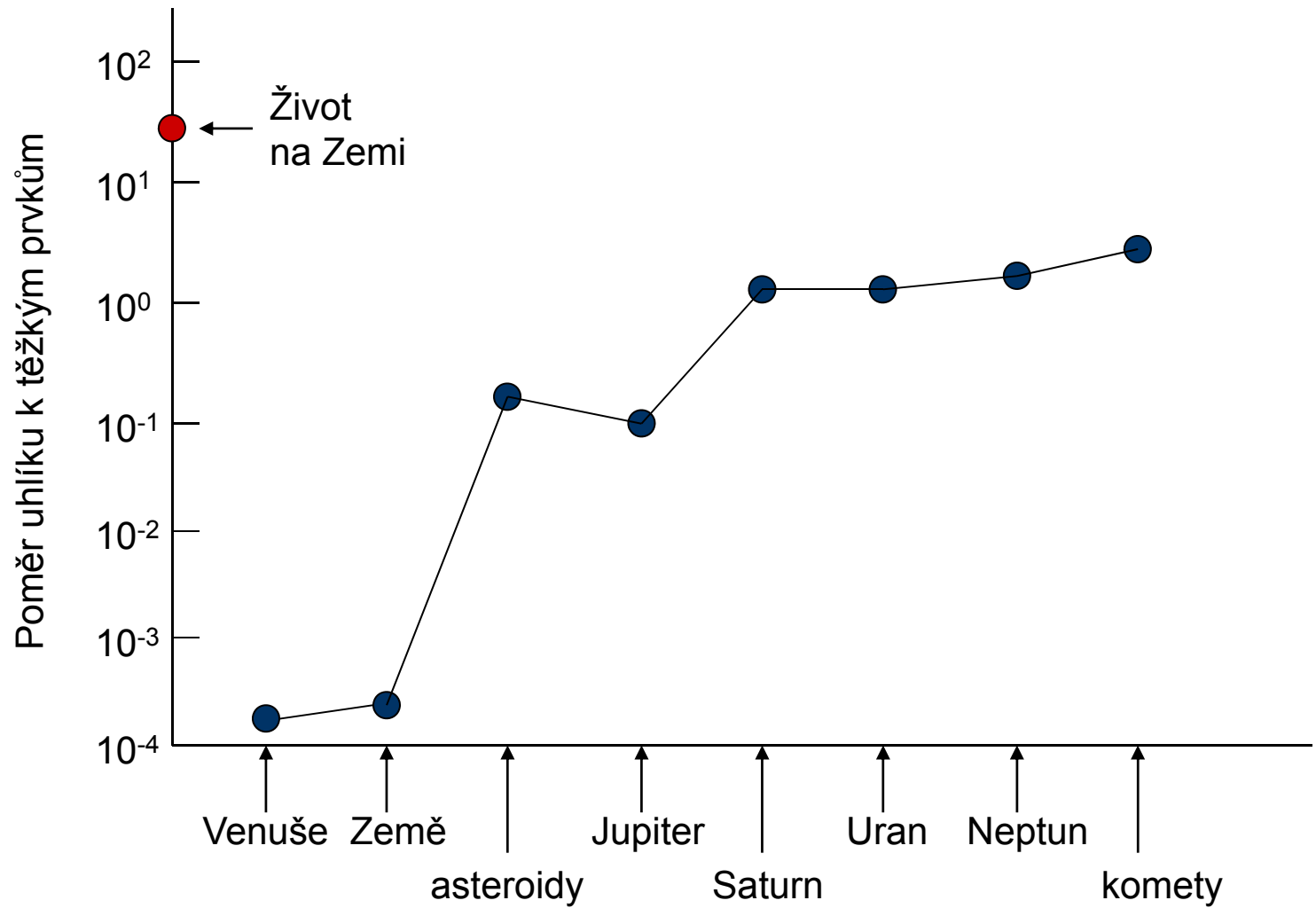


Stáří (miliardy let)	Událost	Vliv na vznik a vývoj života
4.5	vznik proto-Země první magmatický oceán srážka s jinou planetou – vznik Měsíce	první atmosféra (N ₂ ,CO ₂ ,H ₂ O) stabilizace rotační osy ztráta původní atmosféry
4.4	druhý magmatický oceán	„suchá Země“ ???
4.2 (možná i dříve)	desková tektonika	stabilizace skleníkového efektu, magnetické pole



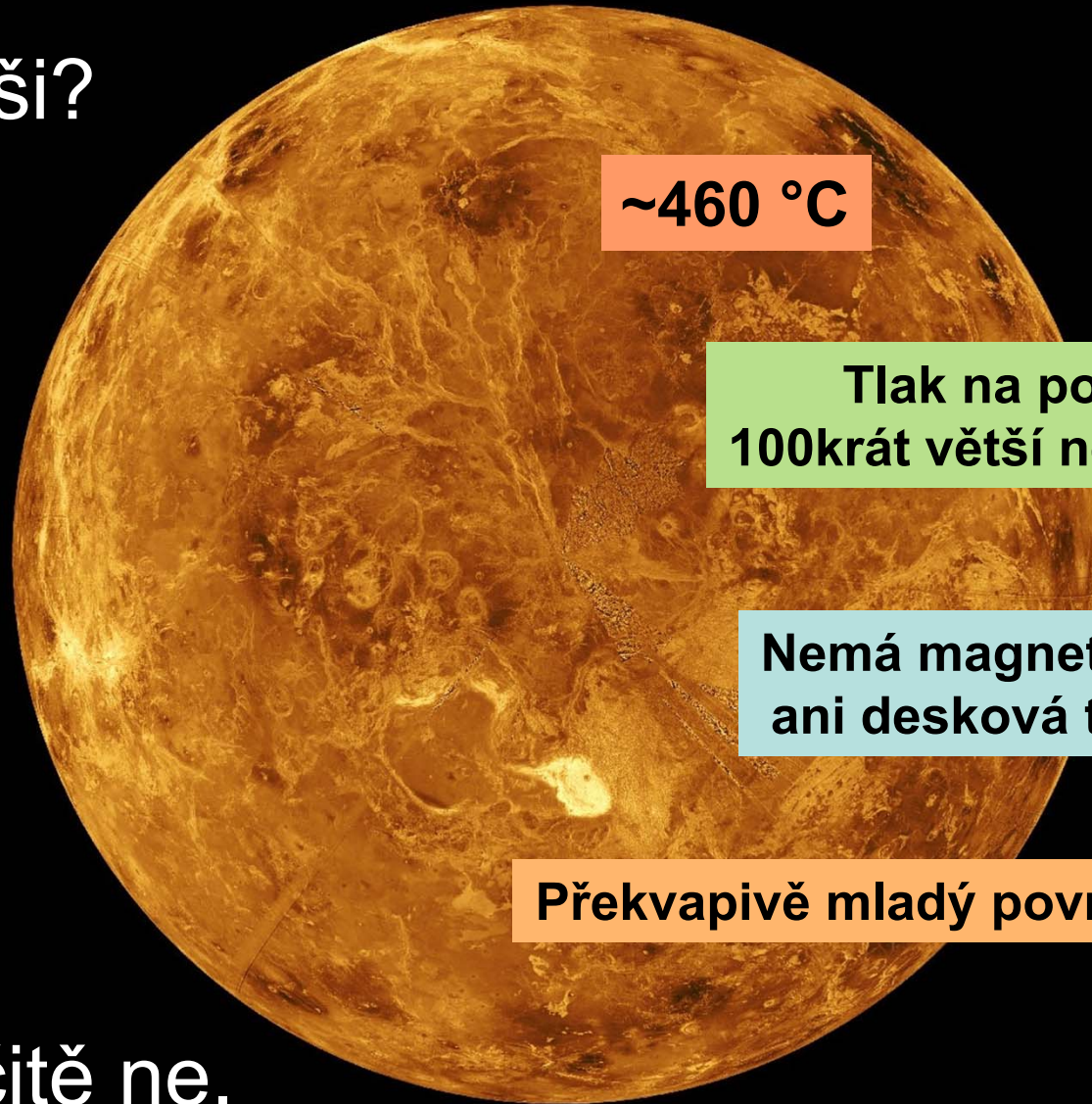
Desková tektonika

Stáří (miliardy let)	Událost	Vliv na vznik a vývoj života
4.5	vznik proto-Země první magmatický oceán srážka s jinou planetou – vznik Měsíce	první atmosféra (N ₂ ,CO ₂ ,H ₂ O) stabilizace rotační osy ztráta původní atmosféry
4.4	druhý magmatický oceán	„suchá Země“ ???
4.2 (možná i dříve)	desková tektonika	stabilizace skleníkového efektu, magnetické pole
4.0-3.85	pozdní těžké bombardování	příliv organického materiálu z vnější sluneční soustavy



Stáří (miliardy let)	Událost	Vliv na vznik a vývoj života
4.5	vznik proto-Země první magmatický oceán srážka s jinou planetou – vznik Měsíce	první atmosféra (N ₂ ,CO ₂ ,H ₂ O) stabilizace rotační osy ztráta původní atmosféry
4.4	druhý magmatický oceán	„suchá Země“ ???
4.2 (možná i dříve)	desková tektonika	stabilizace skleníkového efektu, magnetické pole
4.0-3.85	pozdní těžké bombardování	příliv organického materiálu z vnější sluneční soustavy
3.8	doložena existence oceánu	předpoklad existence života
3.46 (možná už 3.8-4.0?)	doložena existence života	
2.5	O ₂ v atmosféře	vznik ozónové vrstvy - omezení UV záření
0.75-0.58	„Snowball Earth“	prudký rozvoj mnohobuněčných organismů ???

Voda na Venuši?



~460 °C

**Tlak na povrchu
100krát větší než na Zemi**

**Nemá magnetické pole
ani desková tektoniku**

Překvapivě mladý povrch

**Dnes určitě ne.
Ale dříve?**

Mars ...



... jen zdánlivé sucho?

Zdroj: NASA

Voda na Marsu?

Objem 15% Země
přitažlivost 3krát menší

-63 °C (-140 °C – 35 °C)

Tlak na povrchu
~100krát menší než na Zemi

Nemá magnetické pole
ani desková tektoniku

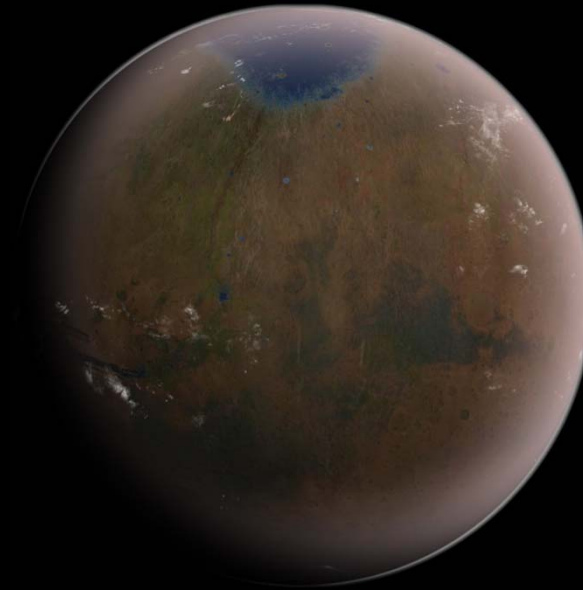
Většinou velmi starý povrch

Nesporné známky
existence vody v minulosti

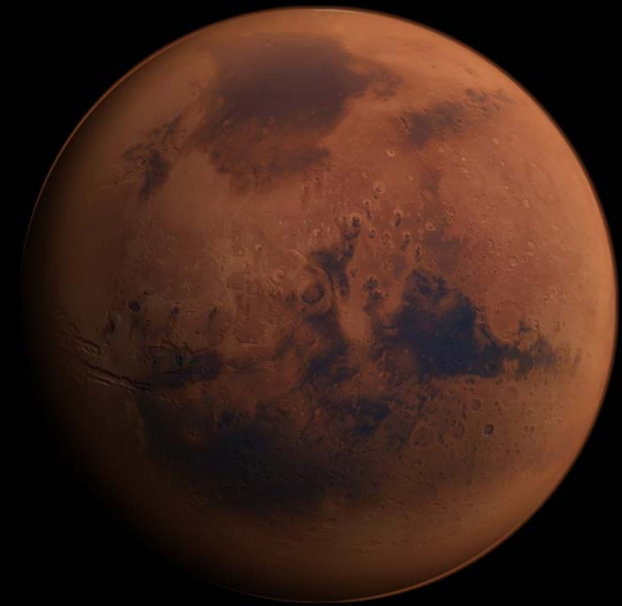
Mars dříve a nyní



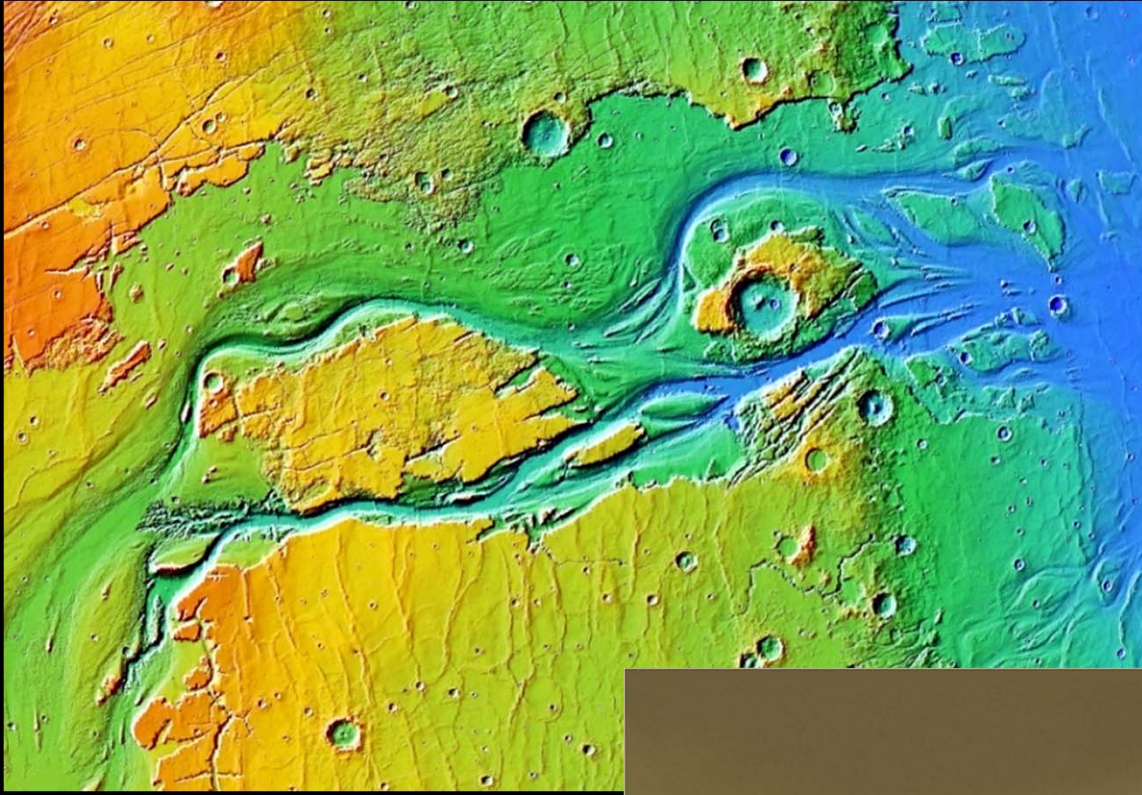
Před 4 miliardami let



Před 3 miliardami let

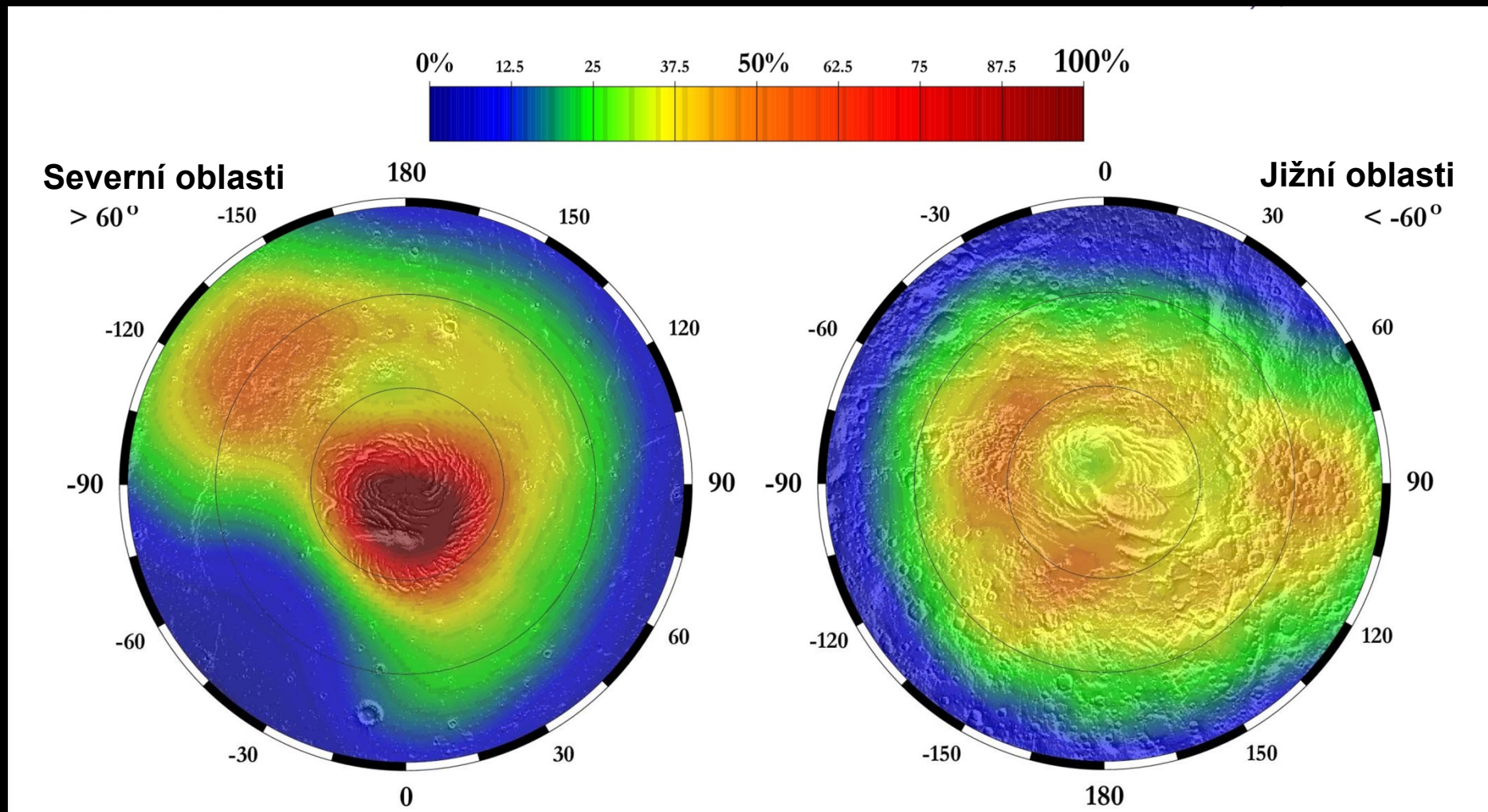


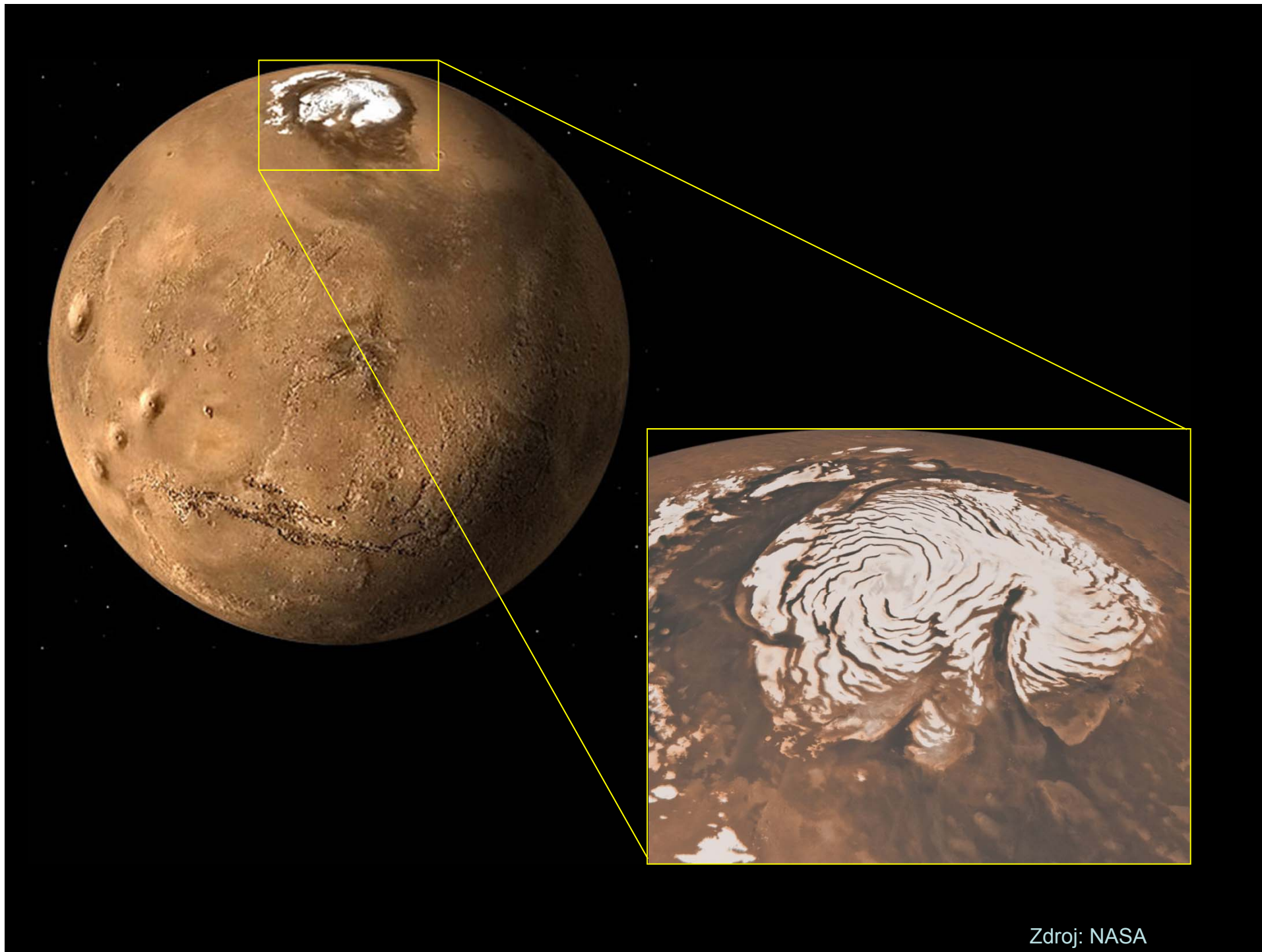
Nyní



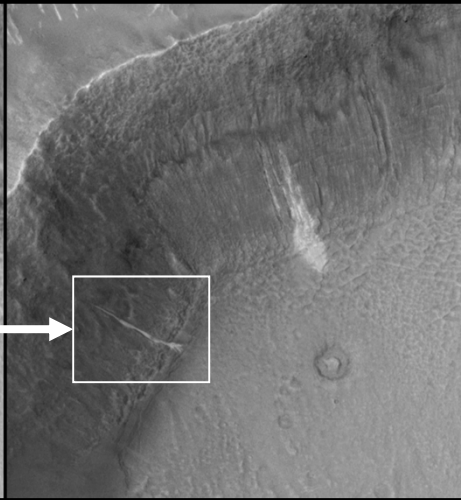
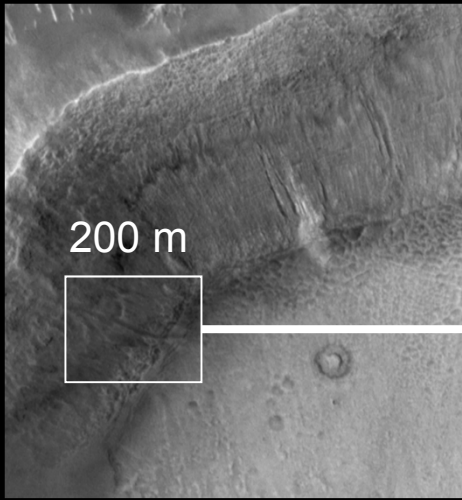
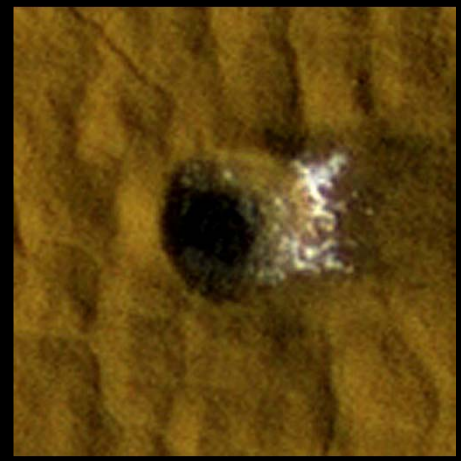
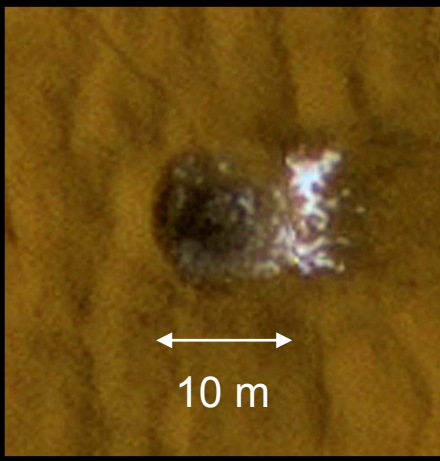
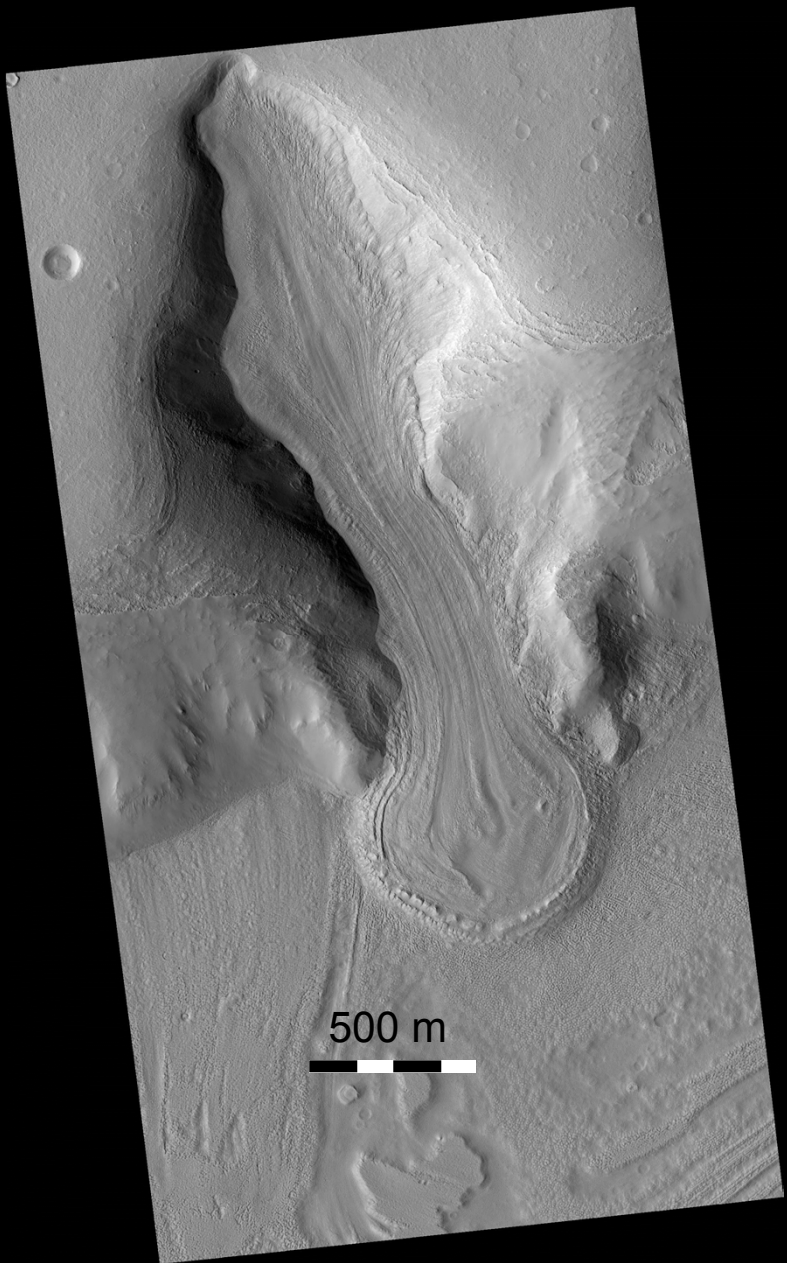
Zdroj: NASA

Množství vodního ledu těsně pod povrchem



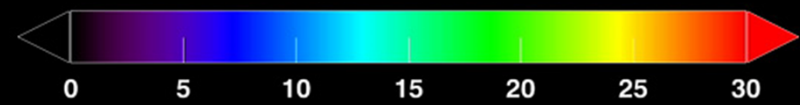
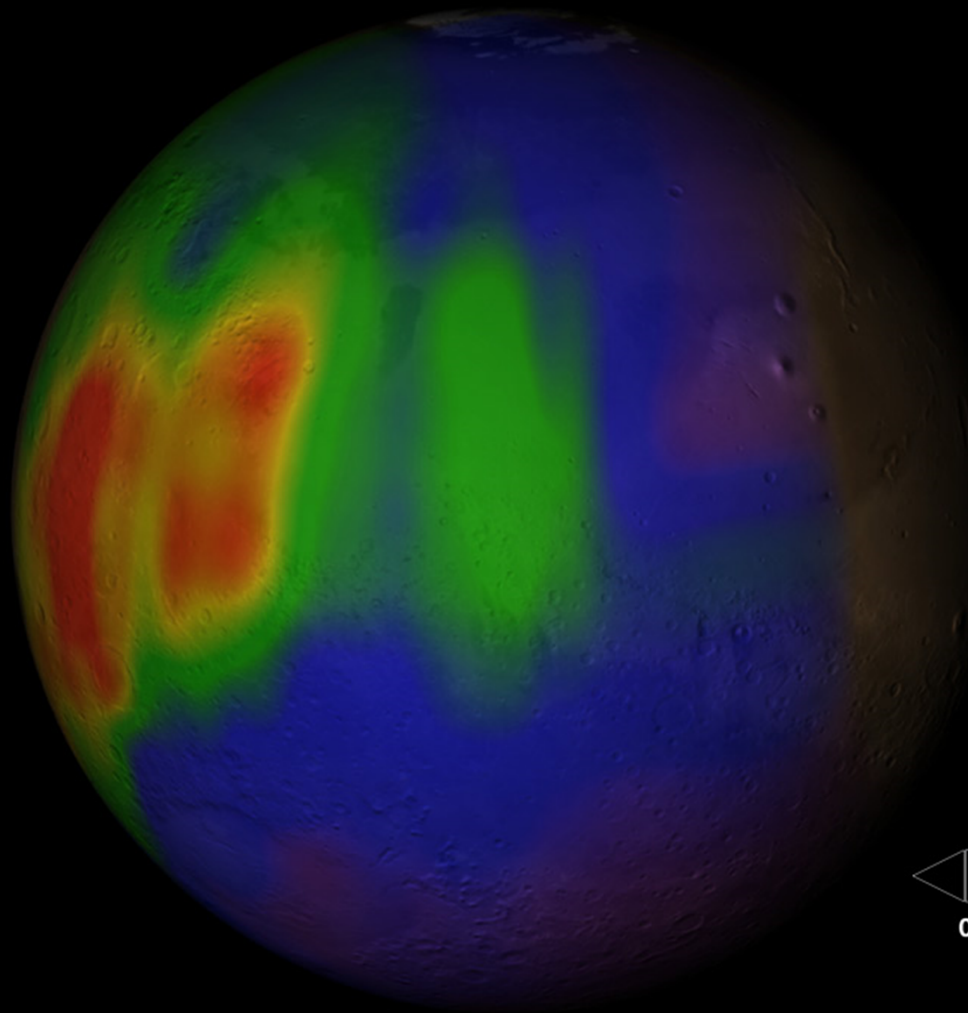


Zdroj: NASA



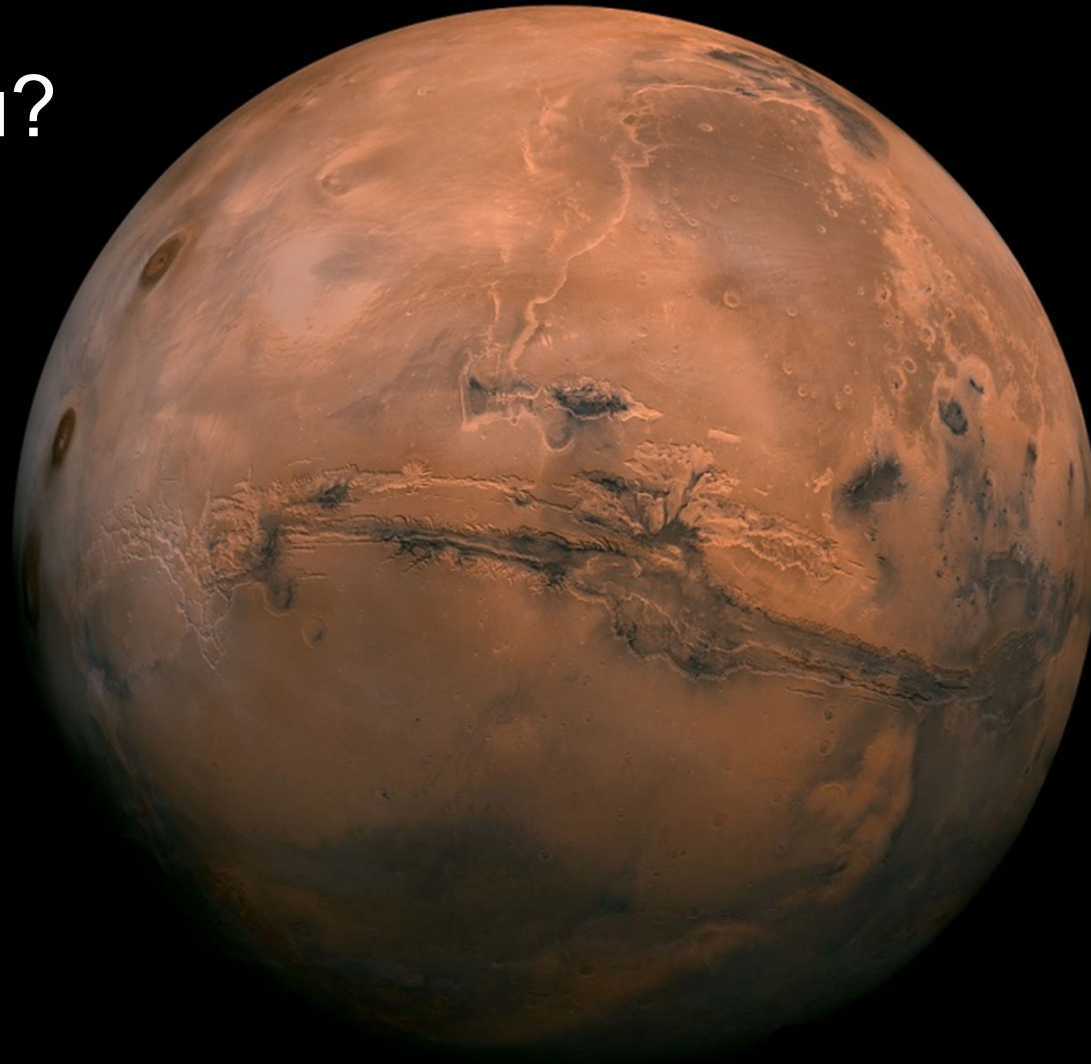
Zdroj: NASA

Metan na Marsu



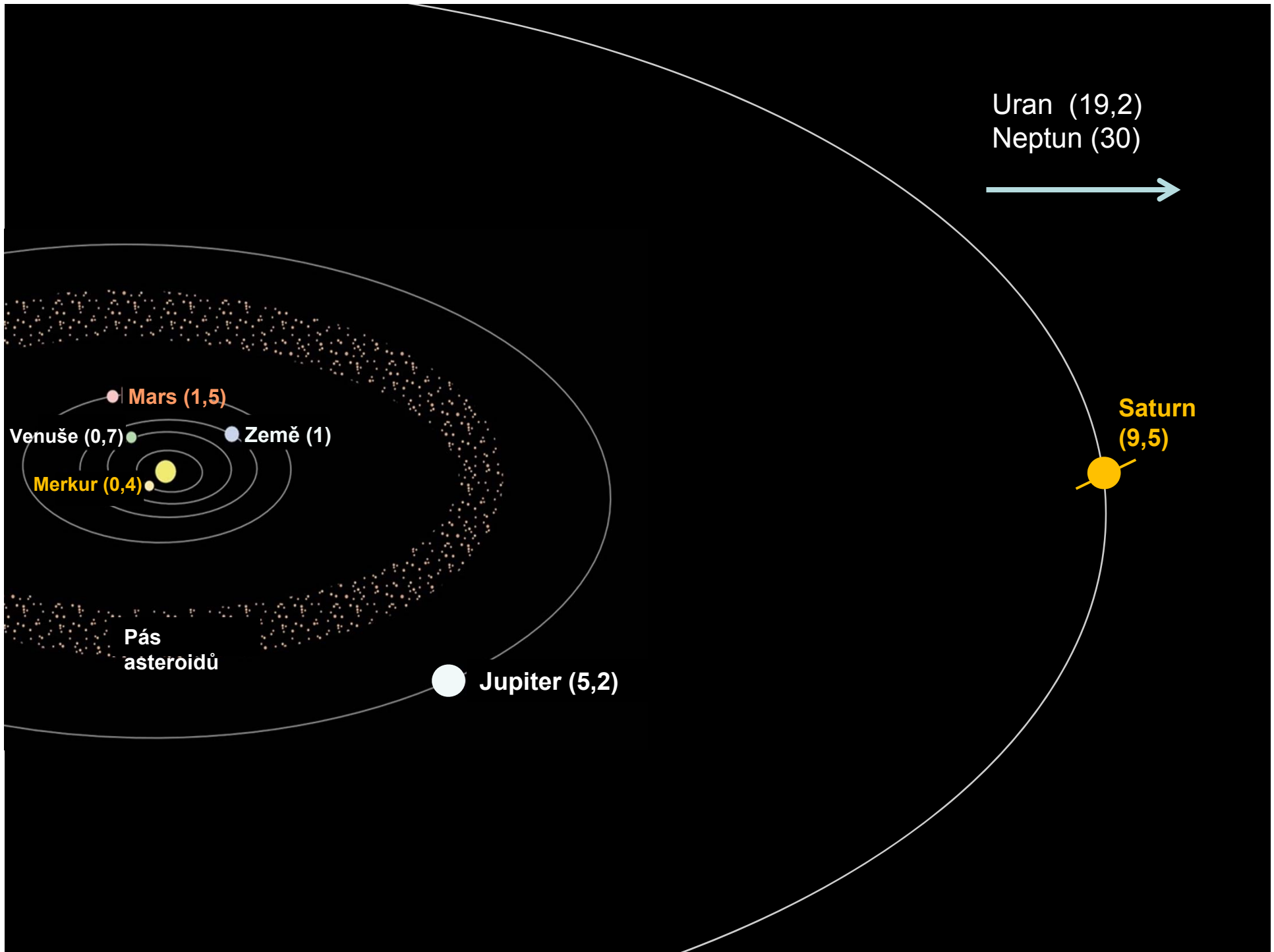
Koncentrace [ppb]

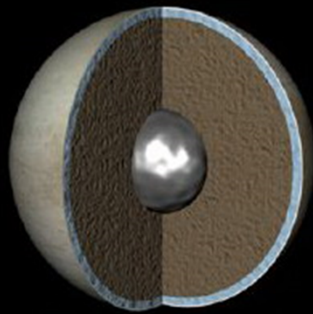
Voda na Marsu?



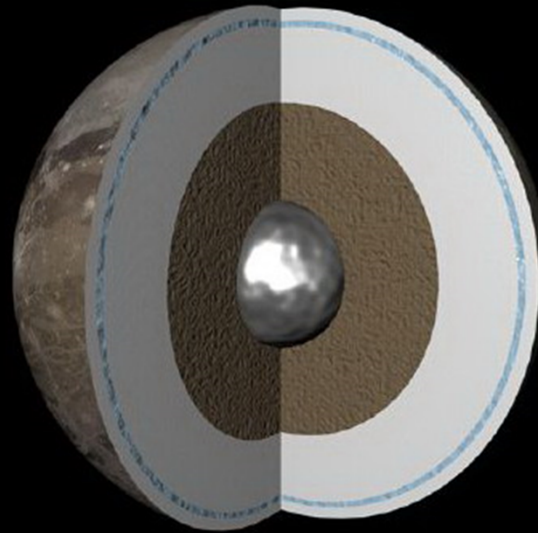
V minulosti jistě.
Dnes možná pod povrchem.

Zdroj: NASA





Europa

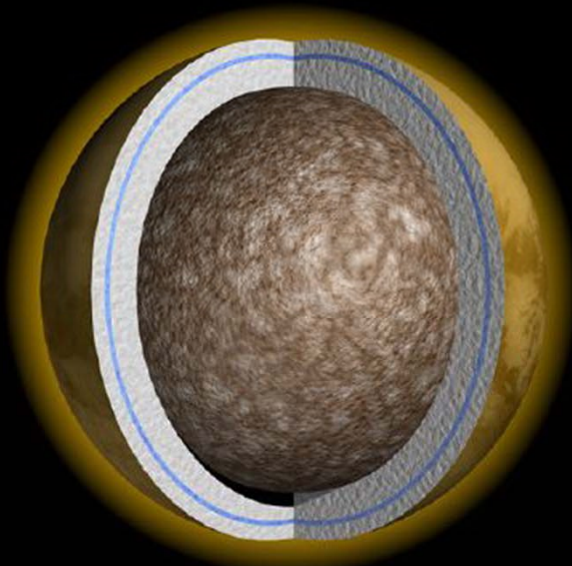


Ganymede

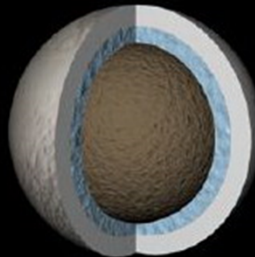


Callisto

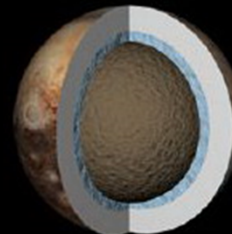
-  led
-  voda
-  kámen
-  kov



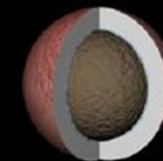
Titan



Eris



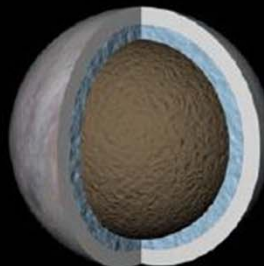
Pluto



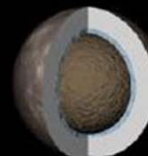
Sedna



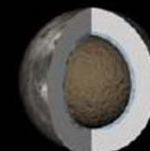
Enceladus



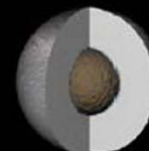
Triton



Titania



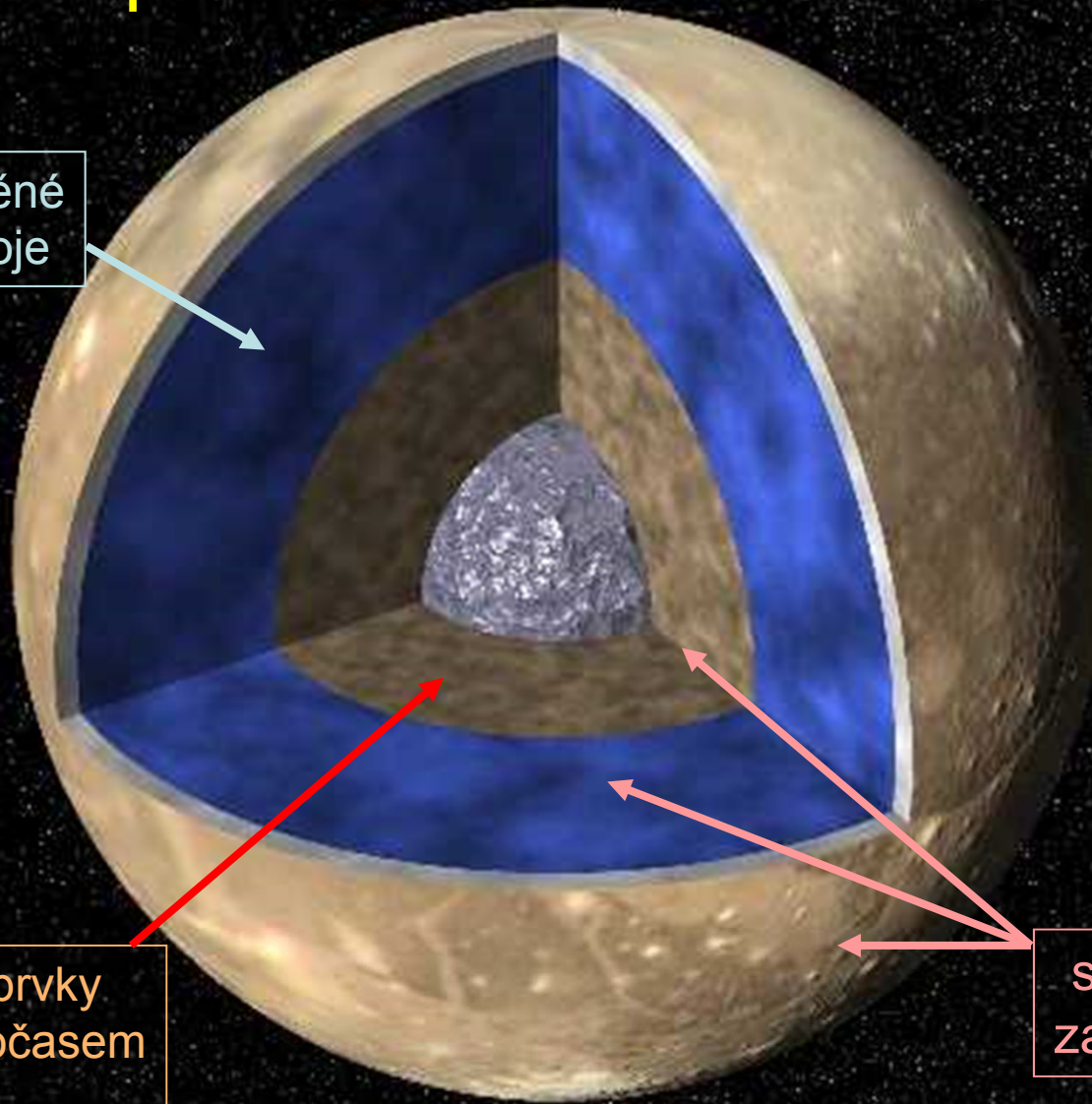
Oberon



Rhea

Zdroje tepla

teplo nahromaděné
na počátku vývoje



radioaktivní prvky
s dlouhým poločasem
rozpadu

slapové
zahřívání

Mise Galileo



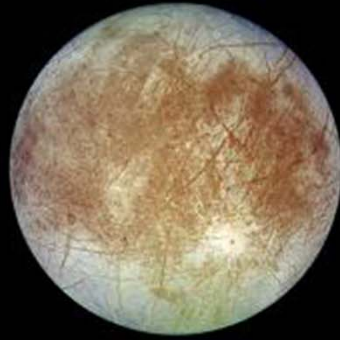
Jet Propulsion Laboratory
California Institute of Technology



Jupiter
www.jpl.nasa.gov
Image Credit:
NASA/JPL/University of Arizona



IO



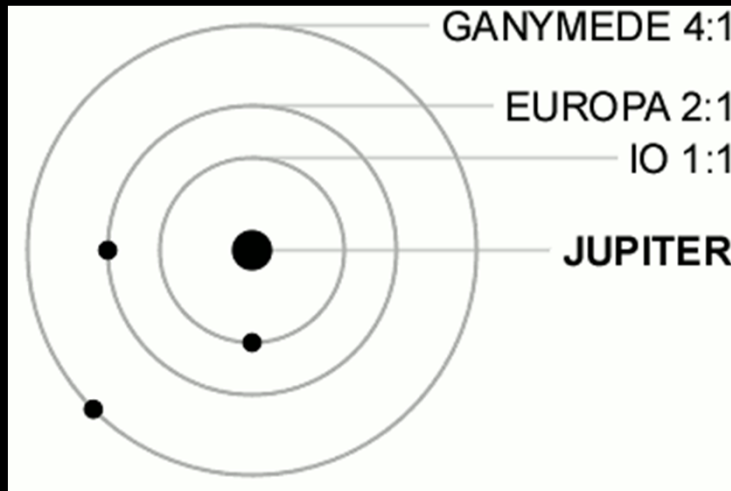
EUROPA



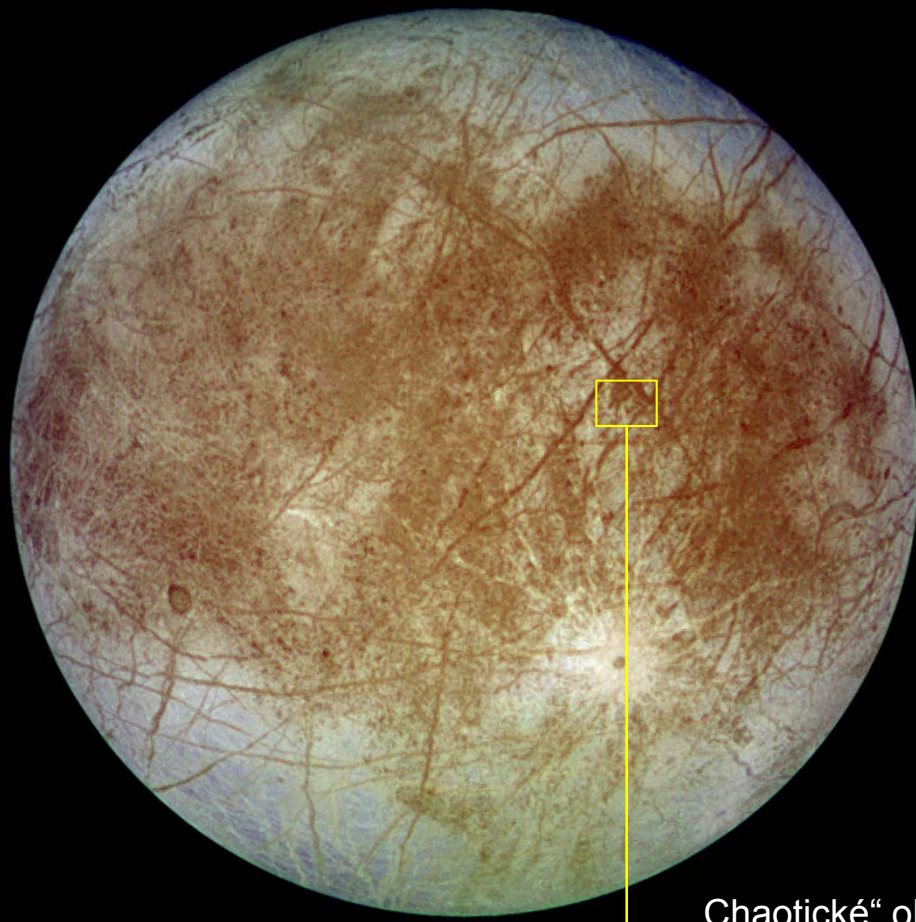
GANYMED



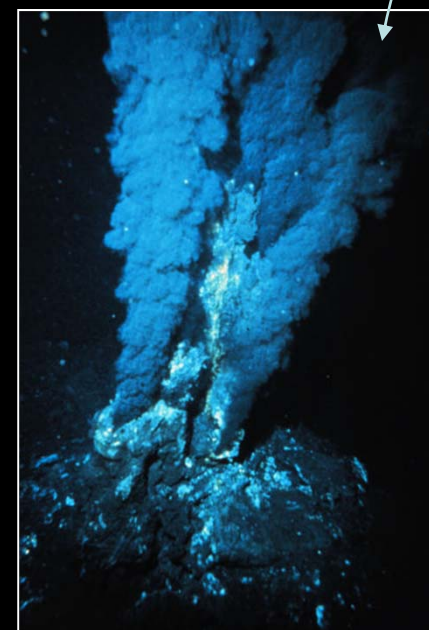
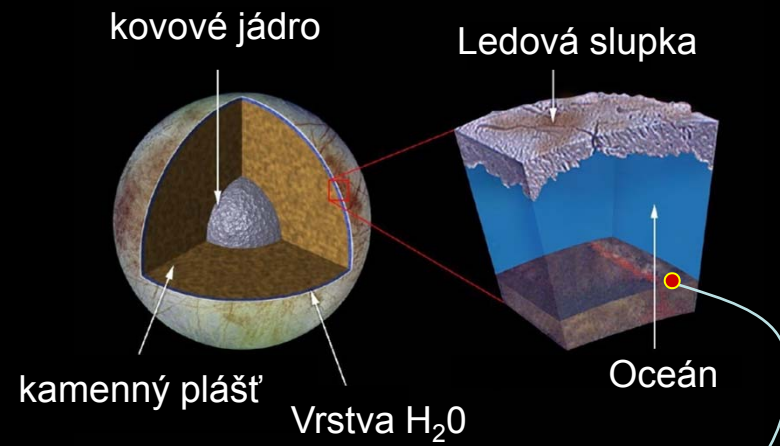
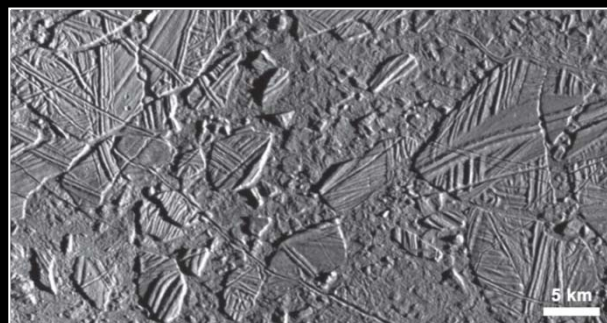
CALLISTO



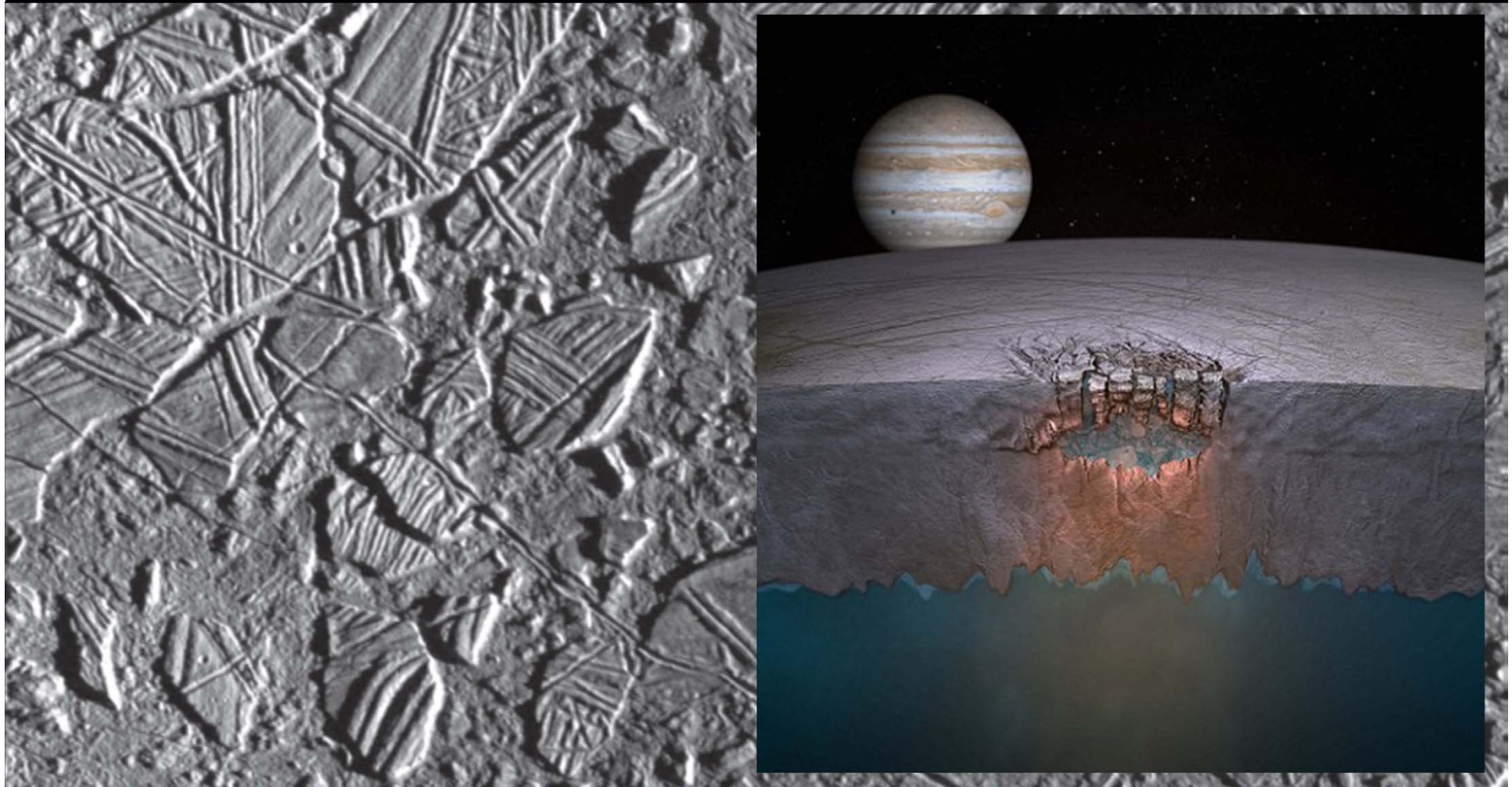
EUROPA



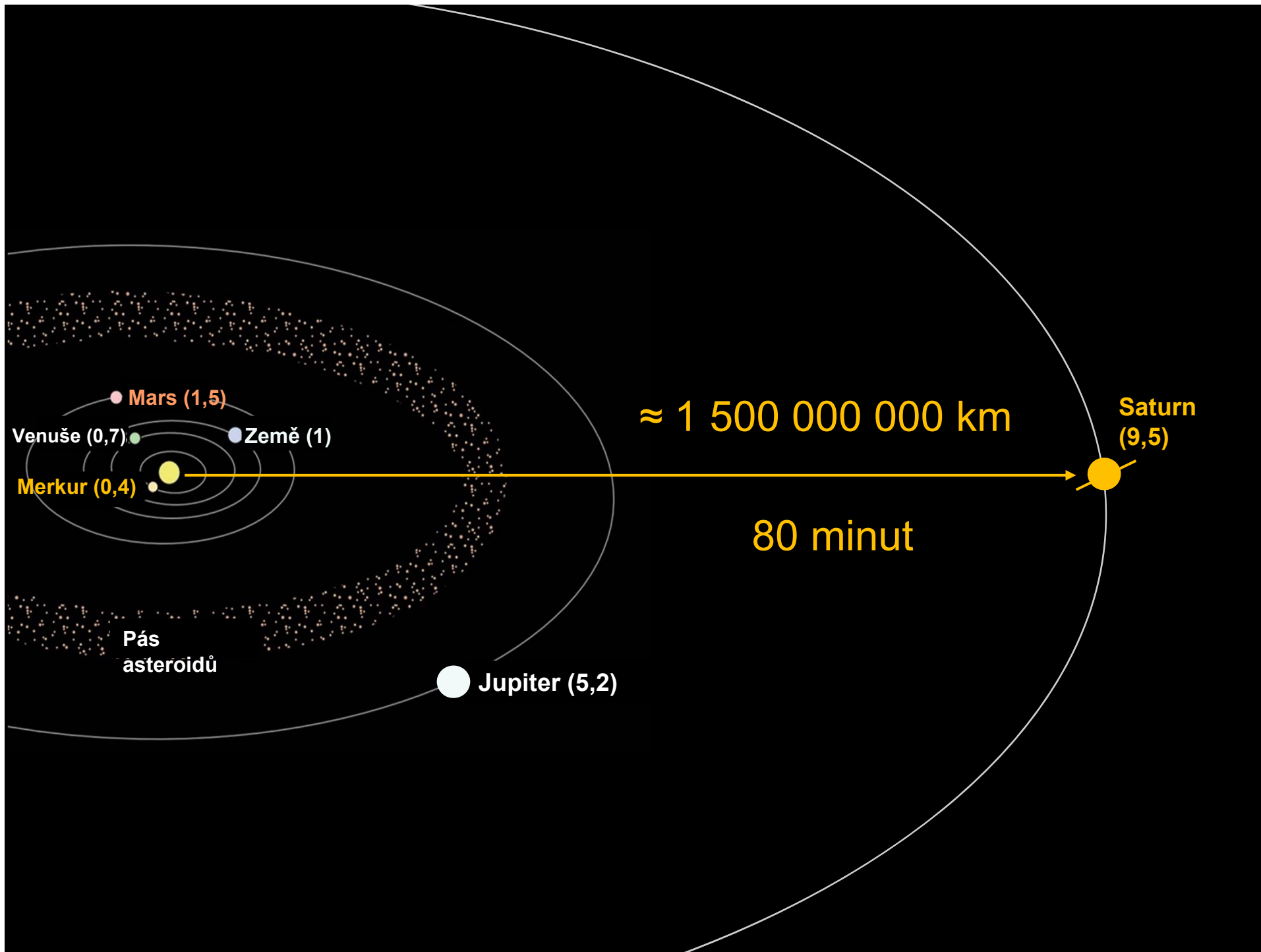
„Chaotické“ oblasti



Černí kuřáci?

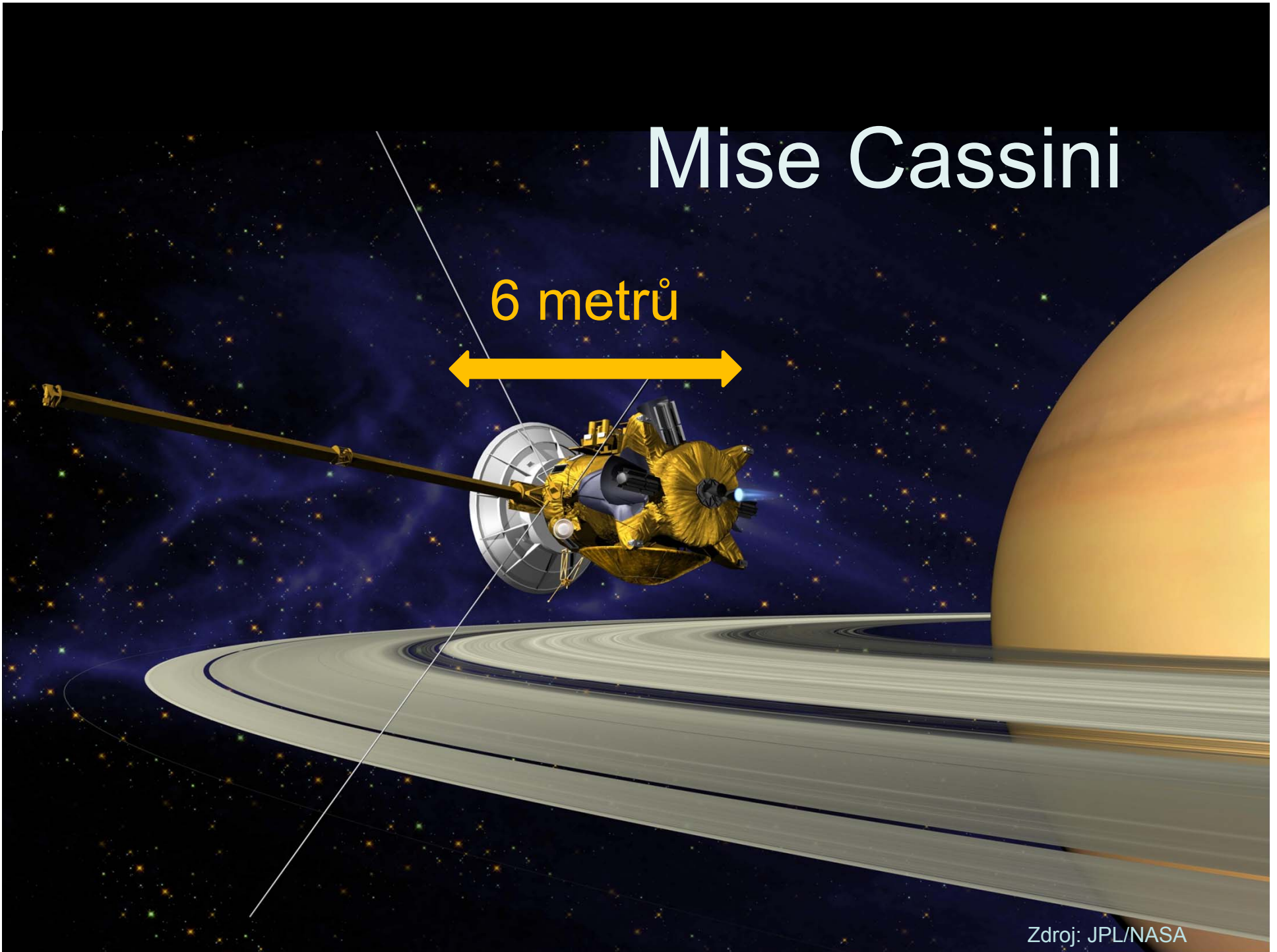


Chaotické terény

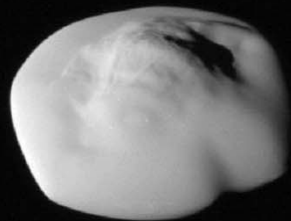


Mise Cassini

6 metrů



Atlas



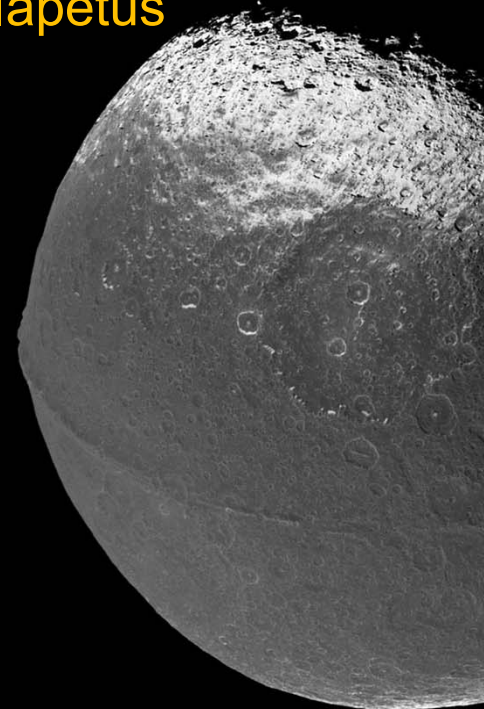
Pan



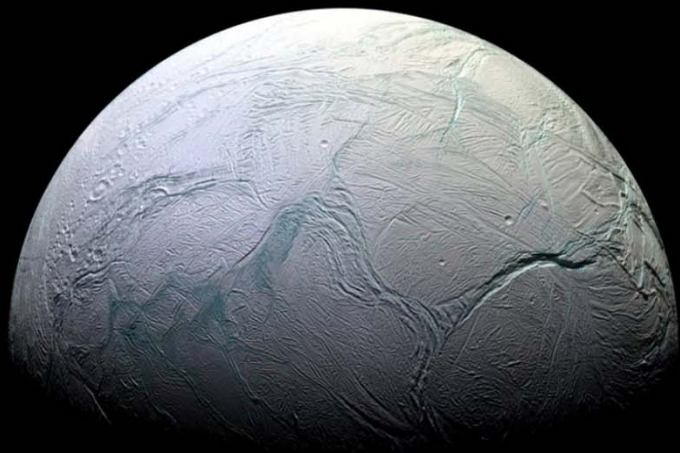
Hyperion



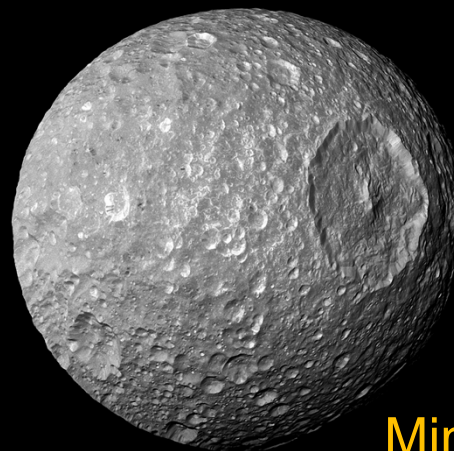
Iapetus



Enceladus



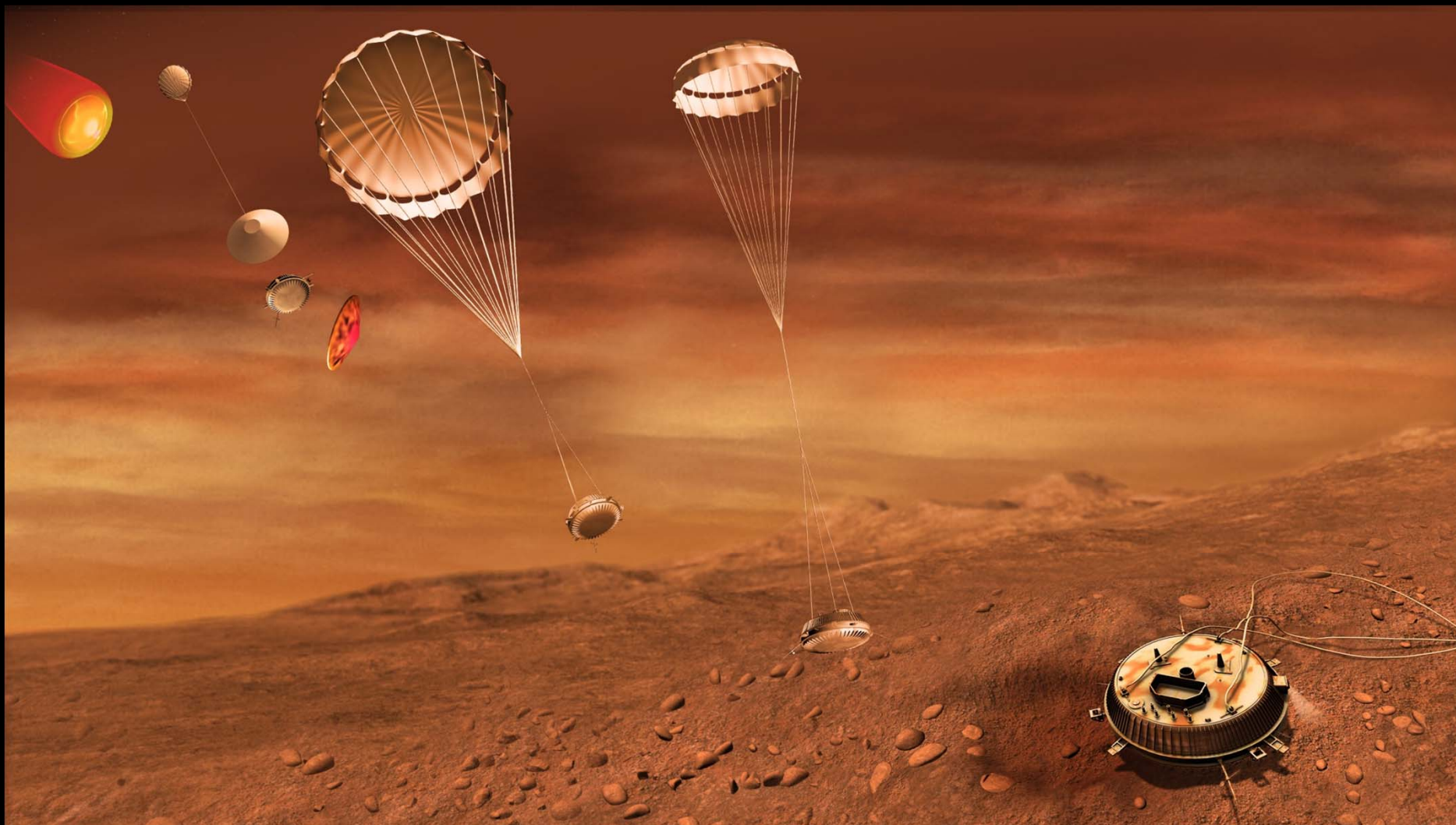
Mimas



Titan

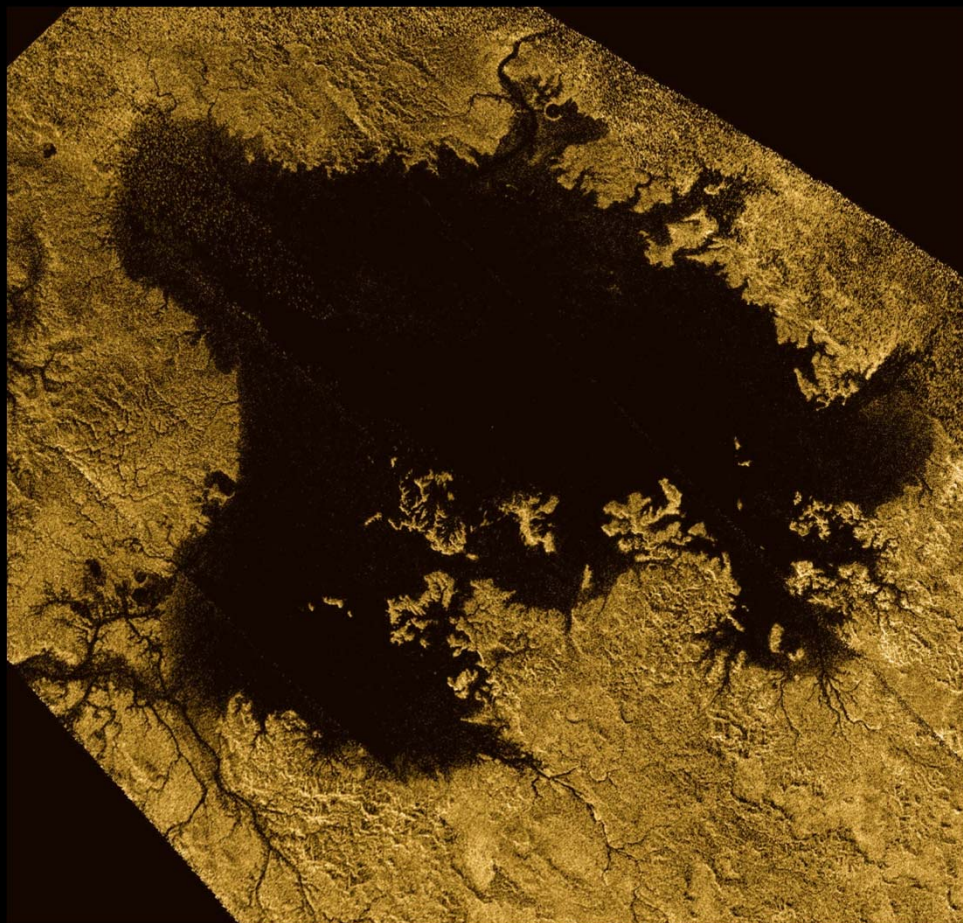


Sonda Huygens

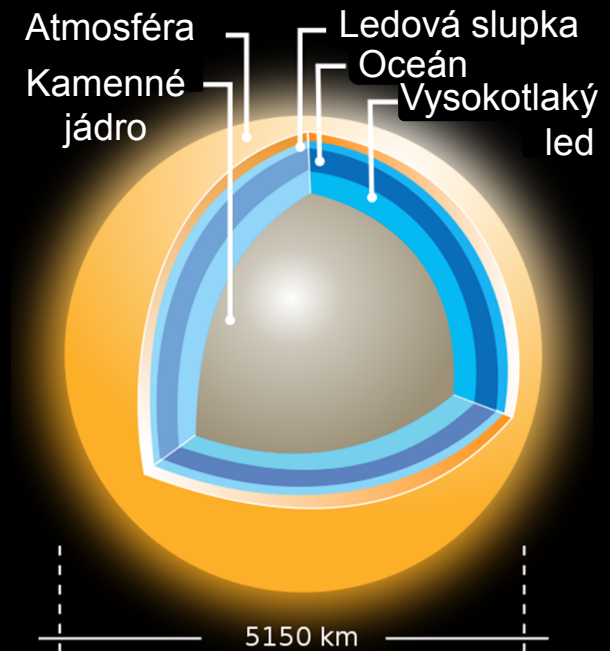
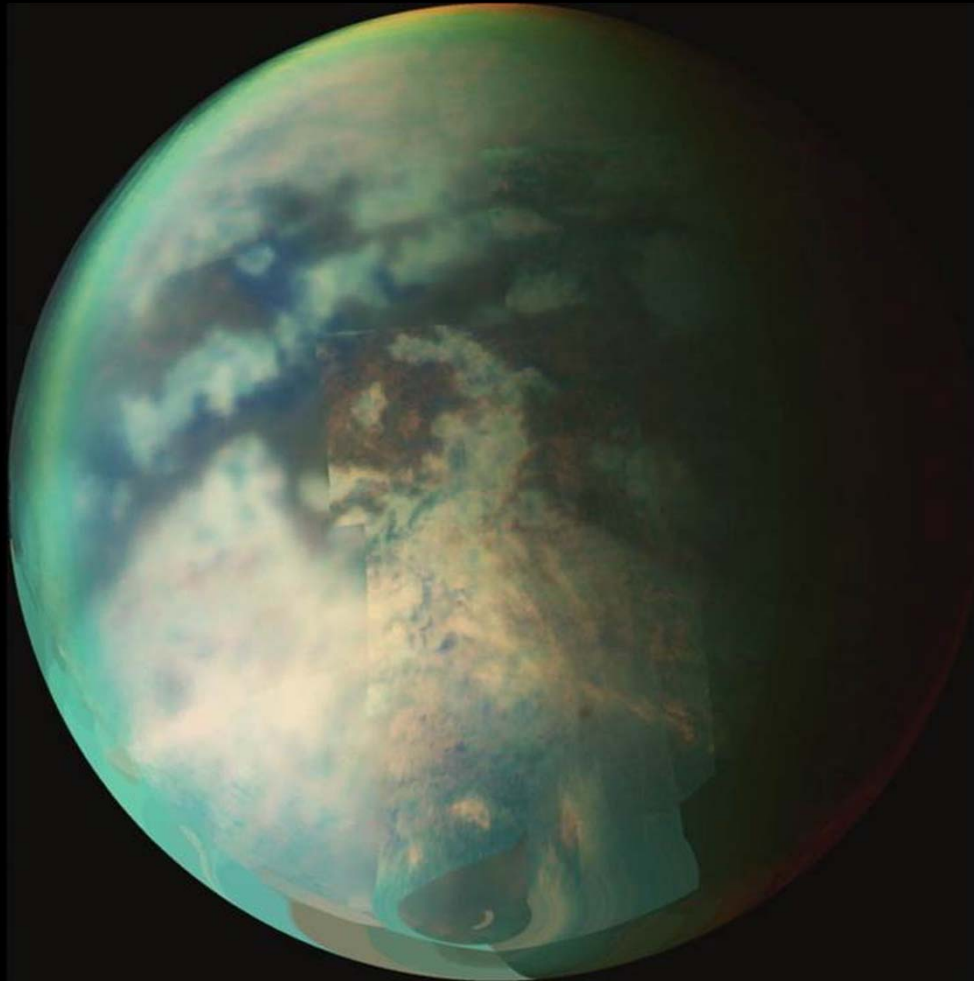


Zdroj: JPL/NASA

Sonda Huygens

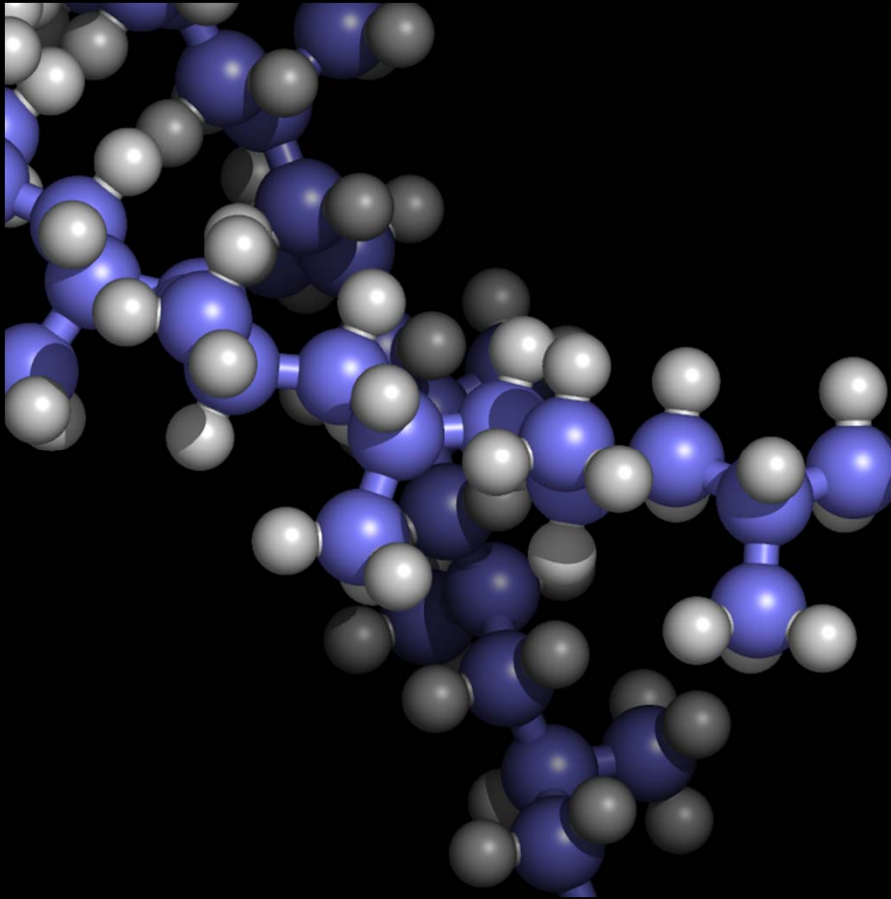


Titan – prebiotická laboratoř



- Prostředí je bohaté na organické látky.
- Život ve vodních kapsách nebo v oceánu pod povrchem?

Titan – prebiotická laboratoř

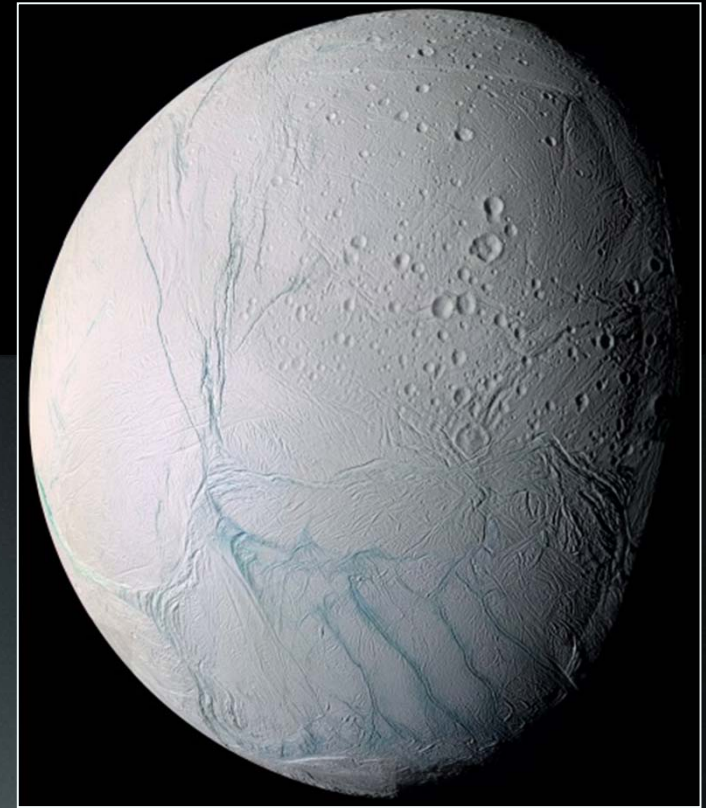


Propylen (propen)



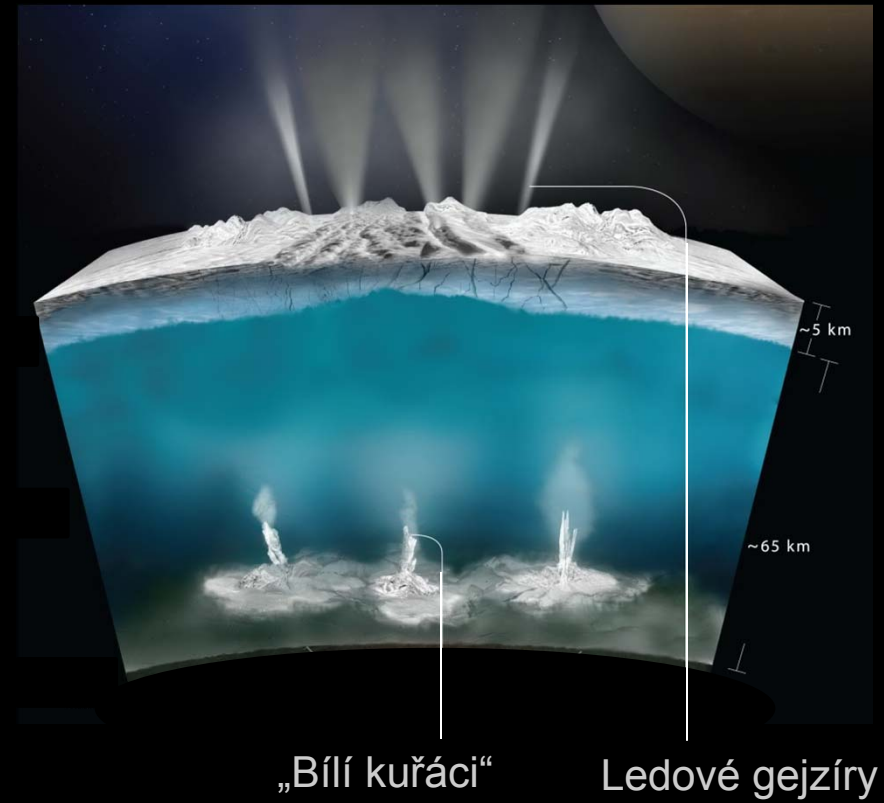
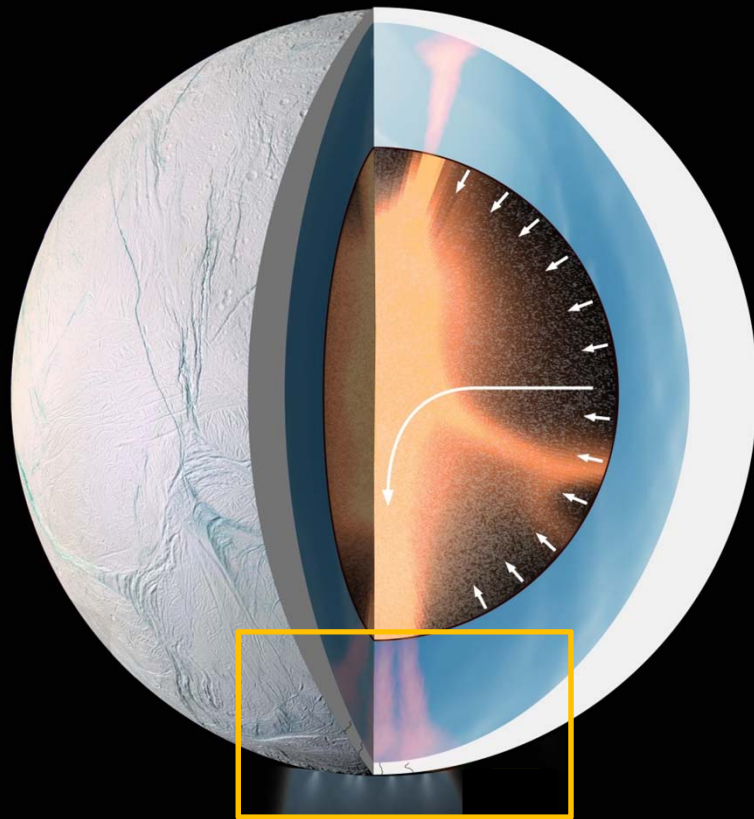
Enceladus

Enceladus: malý vodní svět

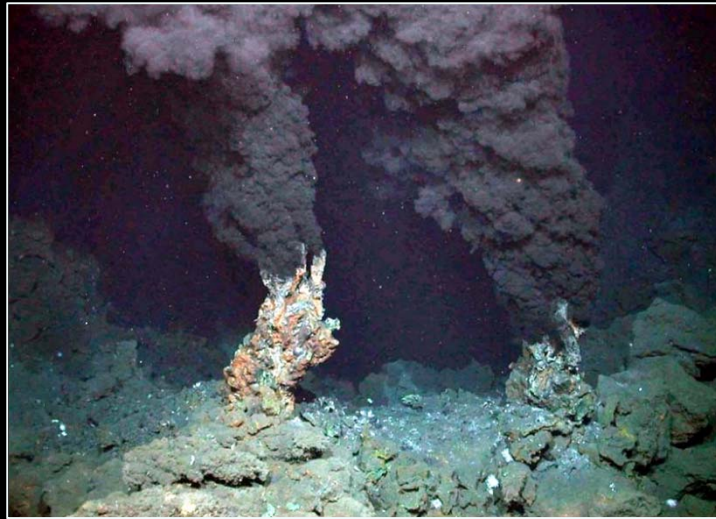


Zdroj: JPL/NASA

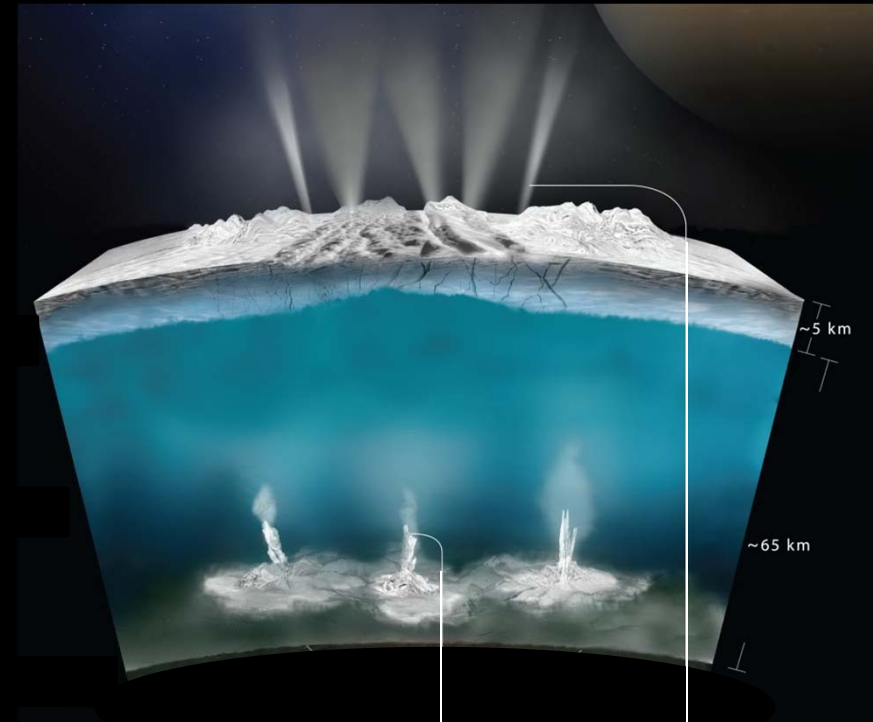
Enceladus: malý vodní svět



Enceladus: malý vodní svět



Černí kuřáci
na oceánském dně na Zemi



„Bílí kuřáci“

Ledové gejzíry

Voda na okraji
sluneční soustavy:
Pluto



-230 °C

**Povrch tvořen
pevným dusíkem**

**V hloubce ~100 km
zřejmě existuje
„studený“ oceán**

Voda na okraji sluneční soustavy: Pluto

„Je známa řada objektů v Kuiperově pásu,
které mají podobnou velikost a hustotu jako Pluto;
podpovrchový oceán u těchto těles
je zřejmě běžným jevem.“

Nimmo et al., Nature 2016

Co bude dál

Hledání života ve sluneční soustavě je prioritou NASA.

Program New Frontiers (NASA):

- **Dragonfly**
- **CAESAR** (Comet Astrobiology Exploration Sample Return)



Kometa 67P/Churyumov-Gerasimenko

Co bude dál

Hledání života ve sluneční soustavě je prioritou NASA.

Program New Frontiers (NASA):

- **Dragonfly**
- **CAESAR** (Comet Astrobiology Exploration Sample Return)

Zanedlouho: **Europa Clipper** (NASA), **JUICE** (ESA)

O něco později: **Europa Lander** (NASA)

An artistic illustration of a submersible exploring a hydrothermal vent field. The submersible is a cylindrical vessel with a conical top and a bright light at the front, illuminating the surrounding dark, rocky environment. The scene is filled with jagged rock formations and a large, glowing hydrothermal vent. A smaller, conical object is visible in the upper left. The overall atmosphere is dark and mysterious, with a blue and purple color palette.

Děkuji za pozornost !

Zdroj: JPL/NASA