

8. Elämän mahdollisuus muilla  
Aurinkokunnan kappaleilla  
- Johdatus elämän vyöhykkeisiin

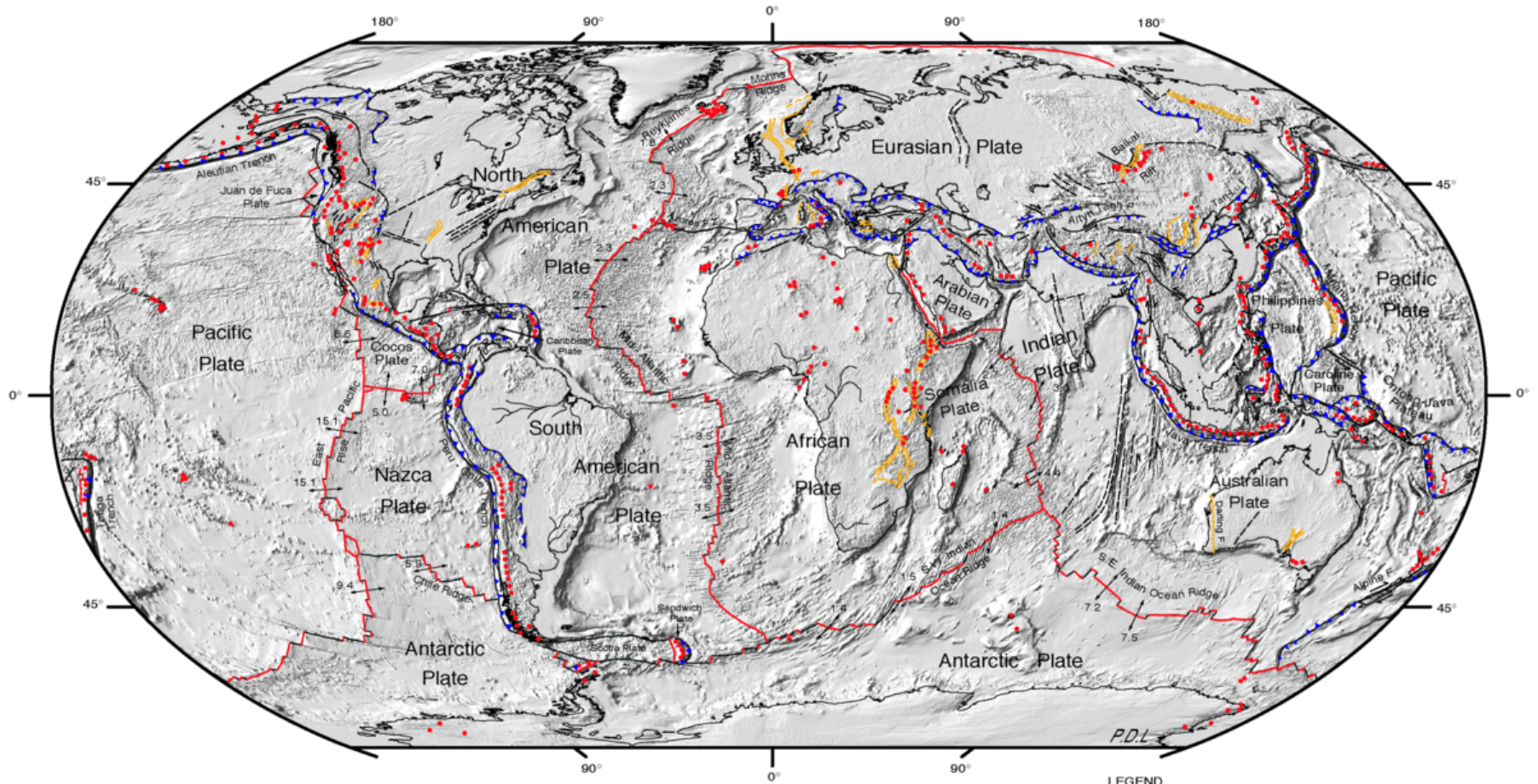
Kuvat NASA/JPL tai ESA tai Harry Lehto

# 8.1 Maan ainutlaatuisuus I

- Etäisyys Auringosta 1.0AU
- Suuri Kuu
  - Aiheuttaa vuorovesiä
  - Hidastaa maan pyörimistä
  - Vakauttaa Maan kiertoakselin suunnan
- Vapaata vettä
  - Valtameriä
  - Tärkeä erilaisissa sykleissä
  - Elämän eliksiiri

# Maan ainutlaatuisuus II

- Tektonista toimintaa
  - Ilmenee ulkoisesti vuoristoina
  - Tärkeä m.m. hiilidioksidin kierrossa
- Kohtuullisen kokoinen planeetta
  - Pystyy vetovoimallaan pitämään ilmakehän
- Kaasukehä
  - Kasvihuoneilmiö, suoja
- Happea (elämän seuraus!)
  - Suojaa ultraviolettisäteilyltä!



**DIGITAL TECTONIC ACTIVITY MAP OF THE EARTH**  
 Tectonism and Volcanism of the Last One Million Years

**DTAM - 1**



NASA/Goddard Space Flight Center  
 Greenbelt, Maryland 20771

Robinson Projection  
 October 2002

**LEGEND**

- Actively-spreading ridges and transform faults
- Total spreading rate, cm/year
- Major active fault or fault zone; dashed where nature, location, or activity uncertain
- Normal fault or rift; hachures on downthrown side
- Reverse fault (overthrust, subduction zones); generalized; bars on upthrown side
- Volcanic centers active within the last one million years; generalized. Minor basaltic centers and seamounts omitted.

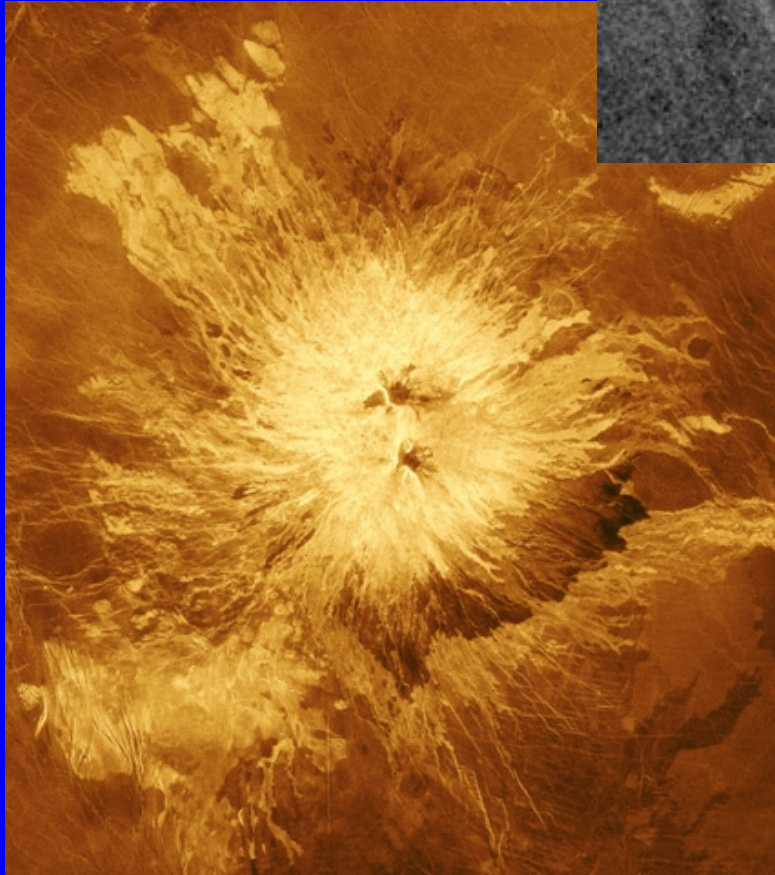


©Harry Lehto





NASA



Venuksen tulivuoria



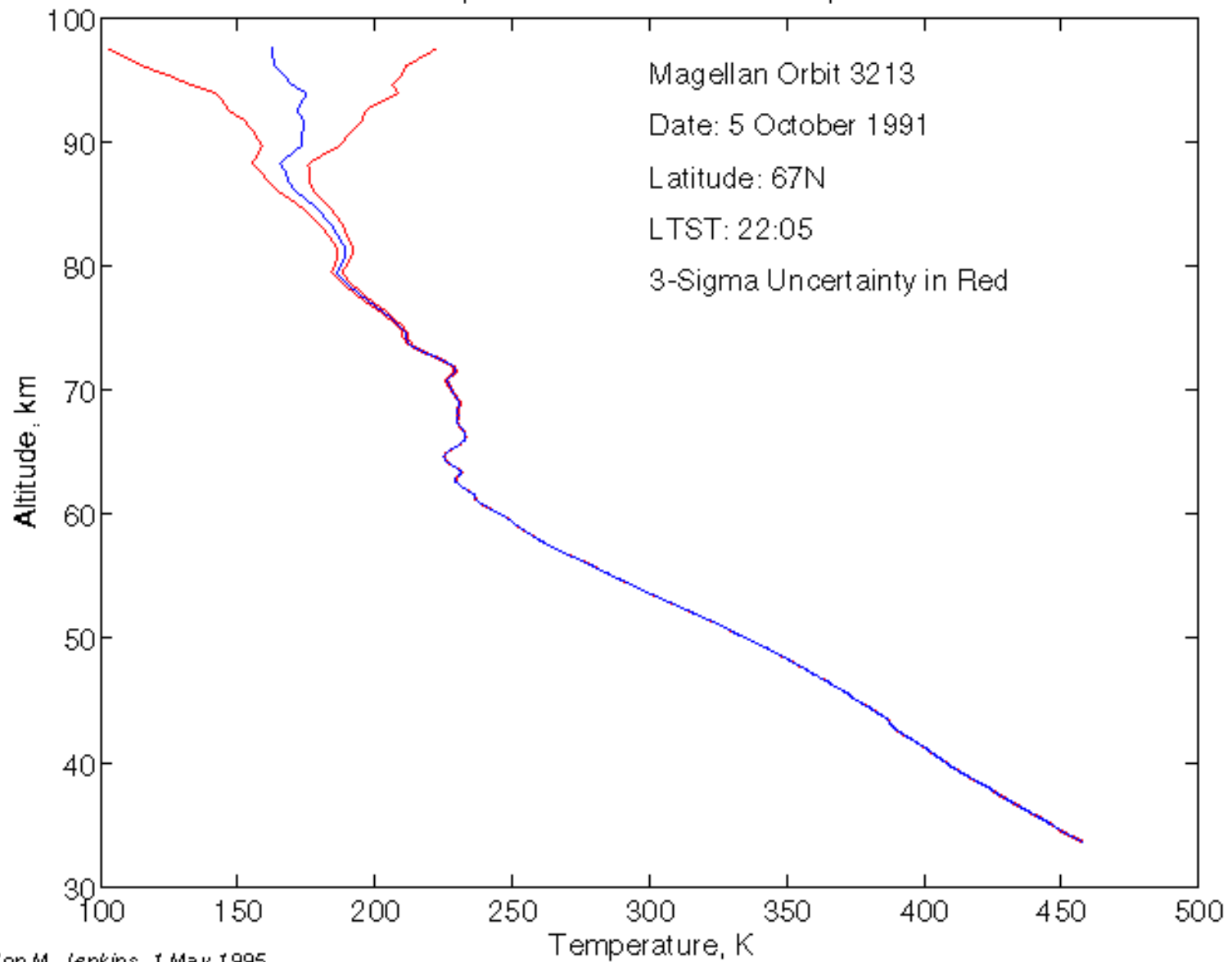
## 8.2 Venus

- Etäisyys Auringosta noin 0.7AU
- Lähes Maan kokoinen
- Tektoninen laattatoiminta puuttuu
- Kasvihuoneilmiö karannut
  - Mahdolliset valtameret haihtuivat
  - Nostivat kasvihuonekaasujen määrää
  - Lämpötila nousi
  - Lisää vettä haihtui jne.
  - Kevyempänä kaasuna vesi karkasi avaruuteen, hiilidioksidi ei.

# Venus (jatkoa)

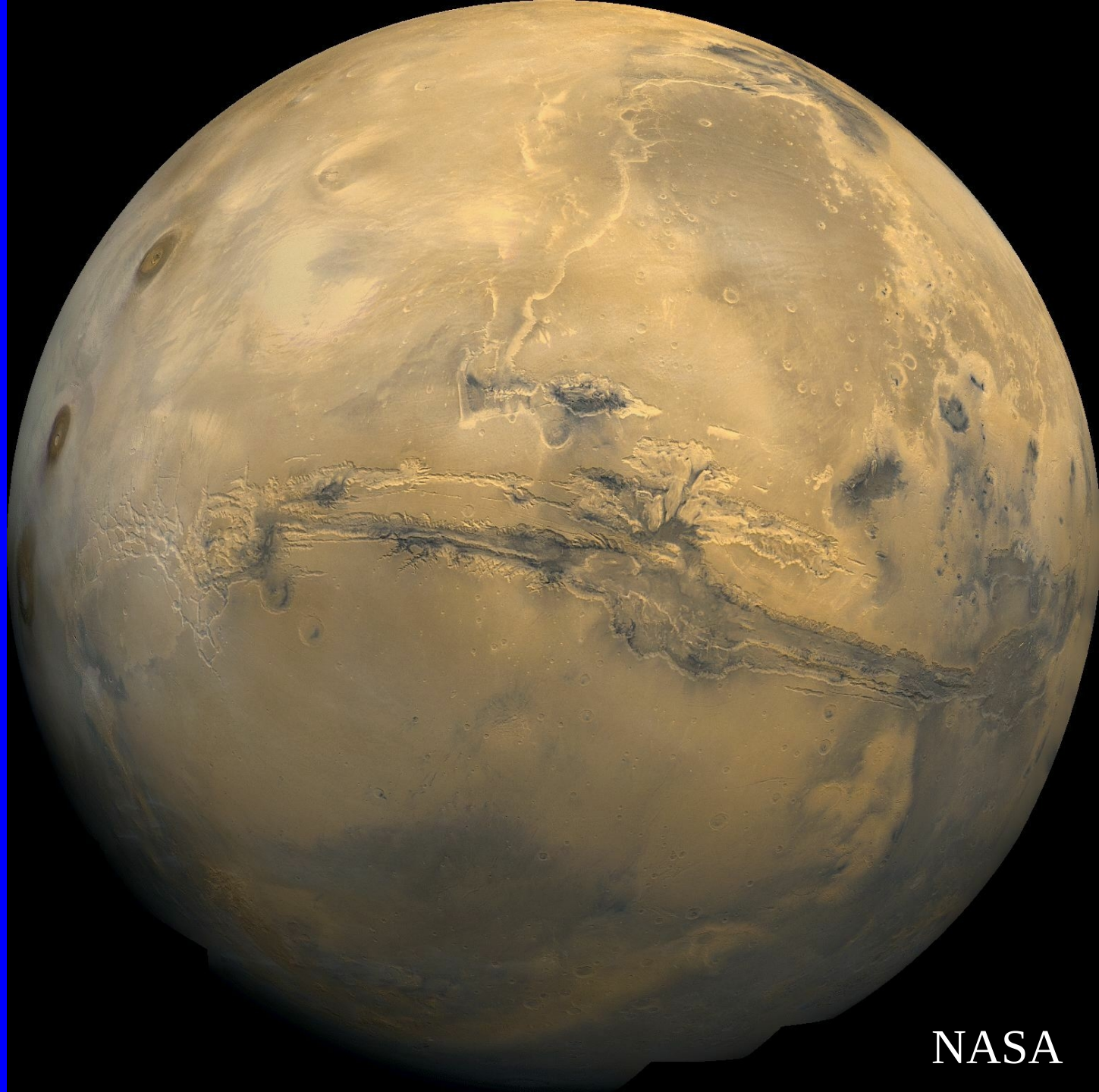
- Ilmakehä 96,5% CO<sub>2</sub>, 3,5% N<sub>2</sub>, paine 90bar
- Pintalämpötila 735±6K, kuiva
- Venuksen pinta oli sula noin 500 miljoonaa vuotta sitten
- SO<sub>2</sub> ~150 ppm →(Ilmeisesti) tulivuori-toimintaa edelleen (Science, 2010)
- Magneettikenttä puuttuu. Ei kiinteää ydintä?

### Temperature of Venusian Atmosphere

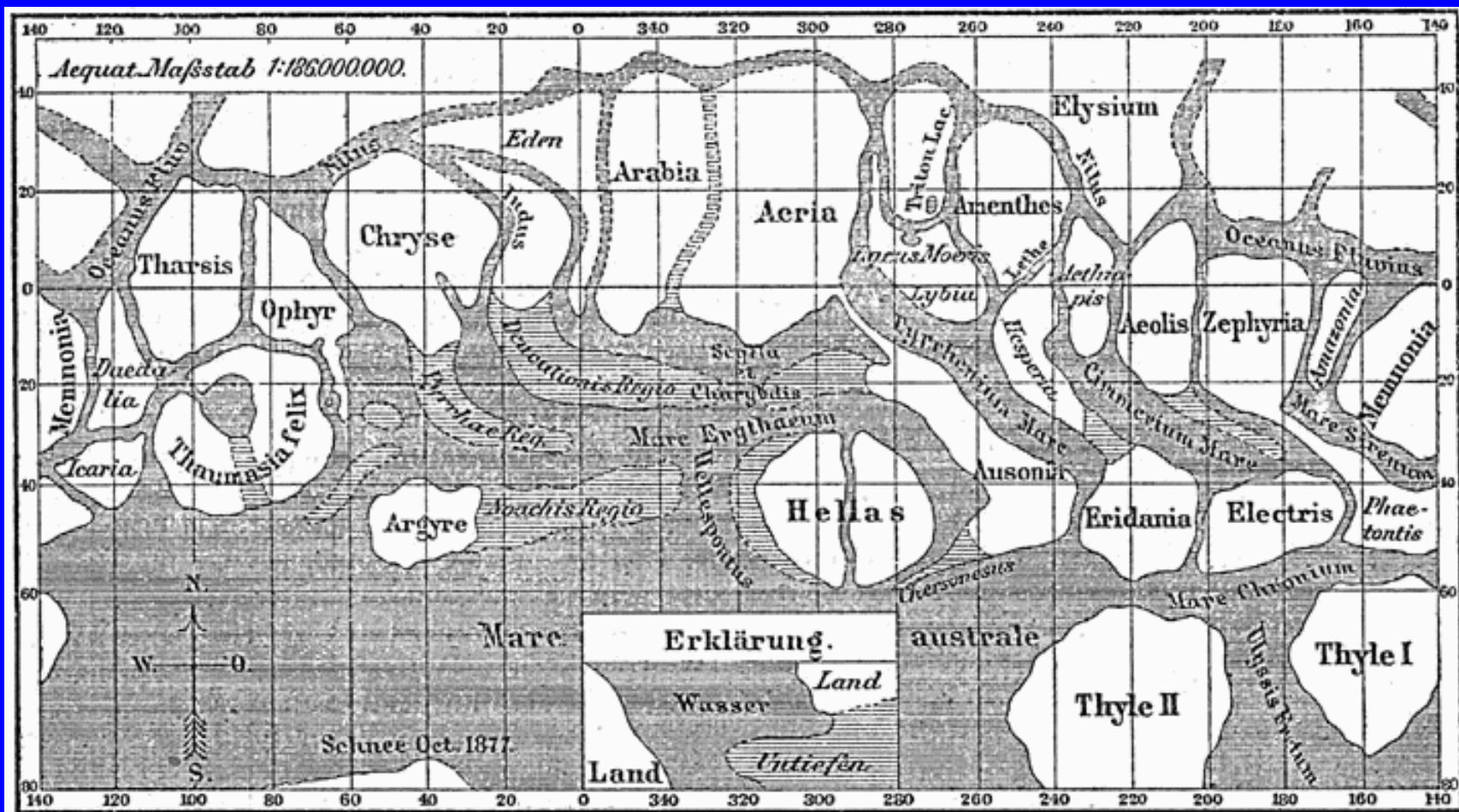


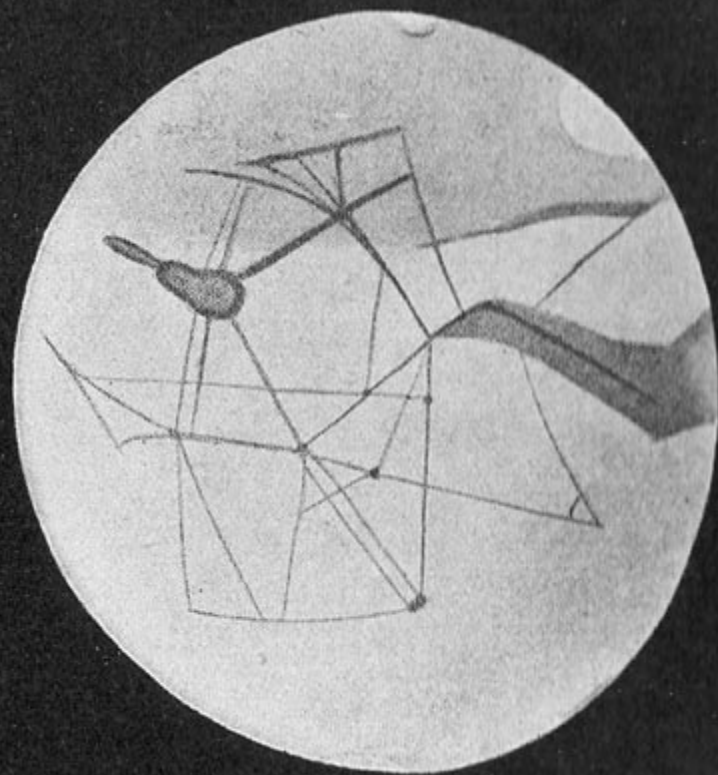
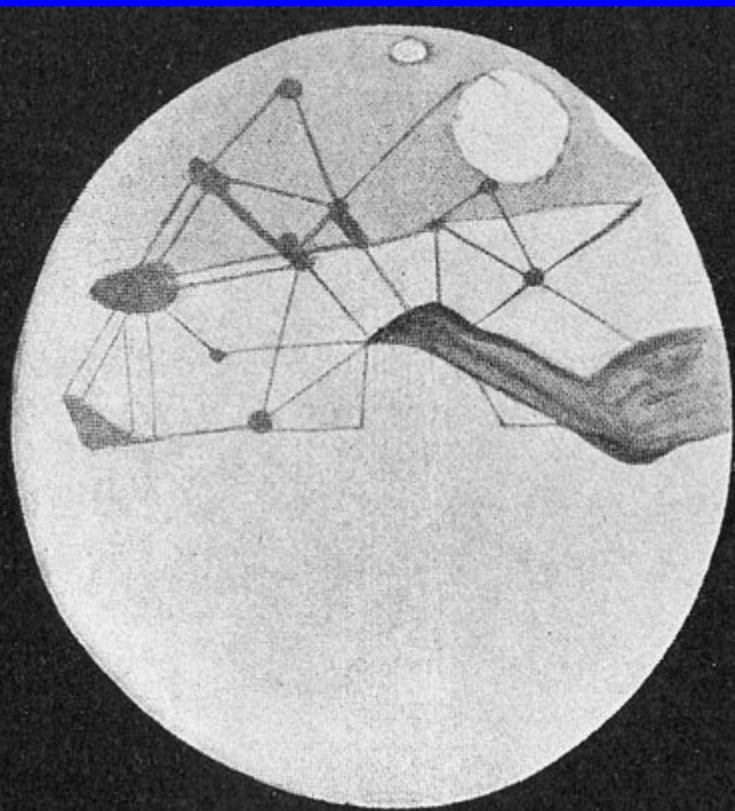
# Mahdolliset venuslaiset

- Jos Venuksessa on ollut valtameriä on elämä voinut paeta kahteen suuntaan: Alas ja ylös
- Venuksen pinnalla tai pinnan alla elävät olisivat varsinaisia extremofiilejä. Venuksen pinta lienee melko syvältä lämpötasapainossa.
- Venuksen pilvet ovat vakaita rikkihappopisaroista muodostuneita pilviä. Pisarat eivät putoile yhtä helposti kuin maassa. Pilvistä löytyy vyöhyke n 55 km korkeudesta, jossa  $P = 1 \text{ bar}$ , ja  $T = \text{noin } 300\text{K}$ . Kellujia?



NASA

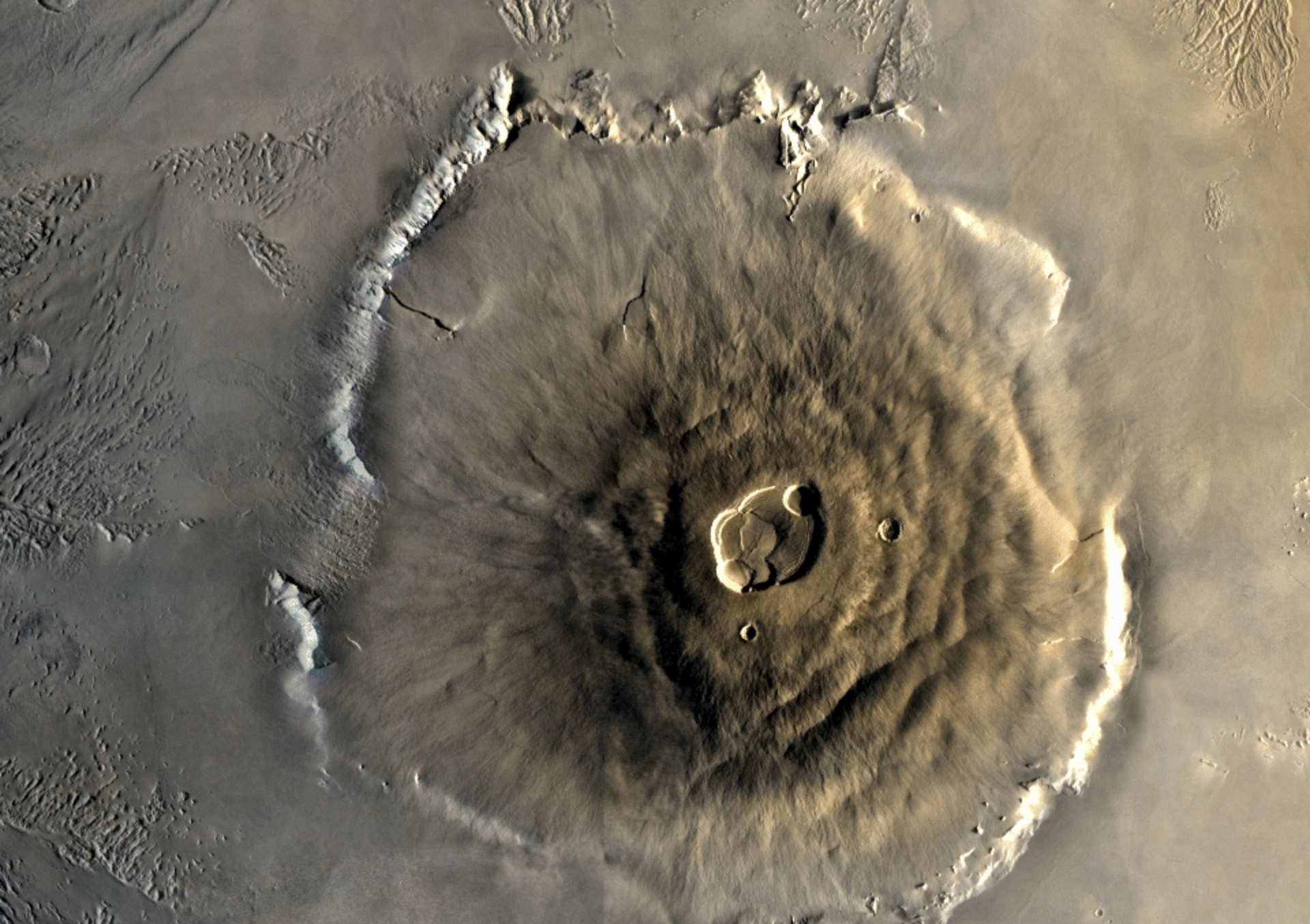




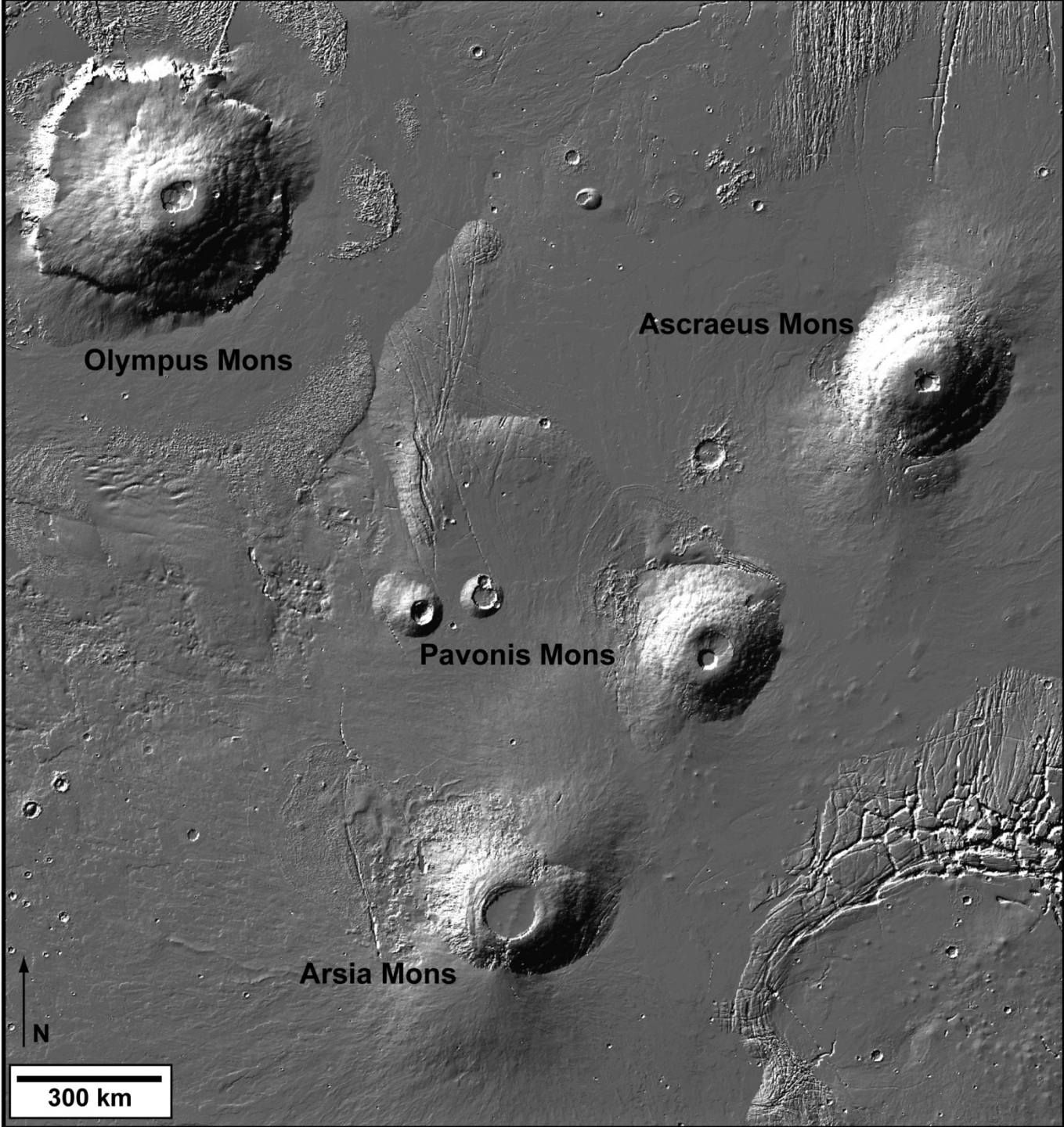
## 8.3 Mars

- Etäisyys Auringosta noin 1.5AU
- Pieni. Lämpötilaltaan noin  $\frac{1}{2}$  maasta ja massaltaan  $\frac{1}{8}$  maasta.
- Tektoninen lattatoiminta puuttuu.
- Ilmakehä karannut, koska planeetan massa liian pieni pitämään ilmakehää
- Nykyisin 98% CO<sub>2</sub>, 0.007 bar kaasukehä, 150-280K pintalämpötila.





Olympus Mons (NASA)

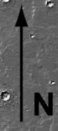


Olympus Mons

Asraeus Mons

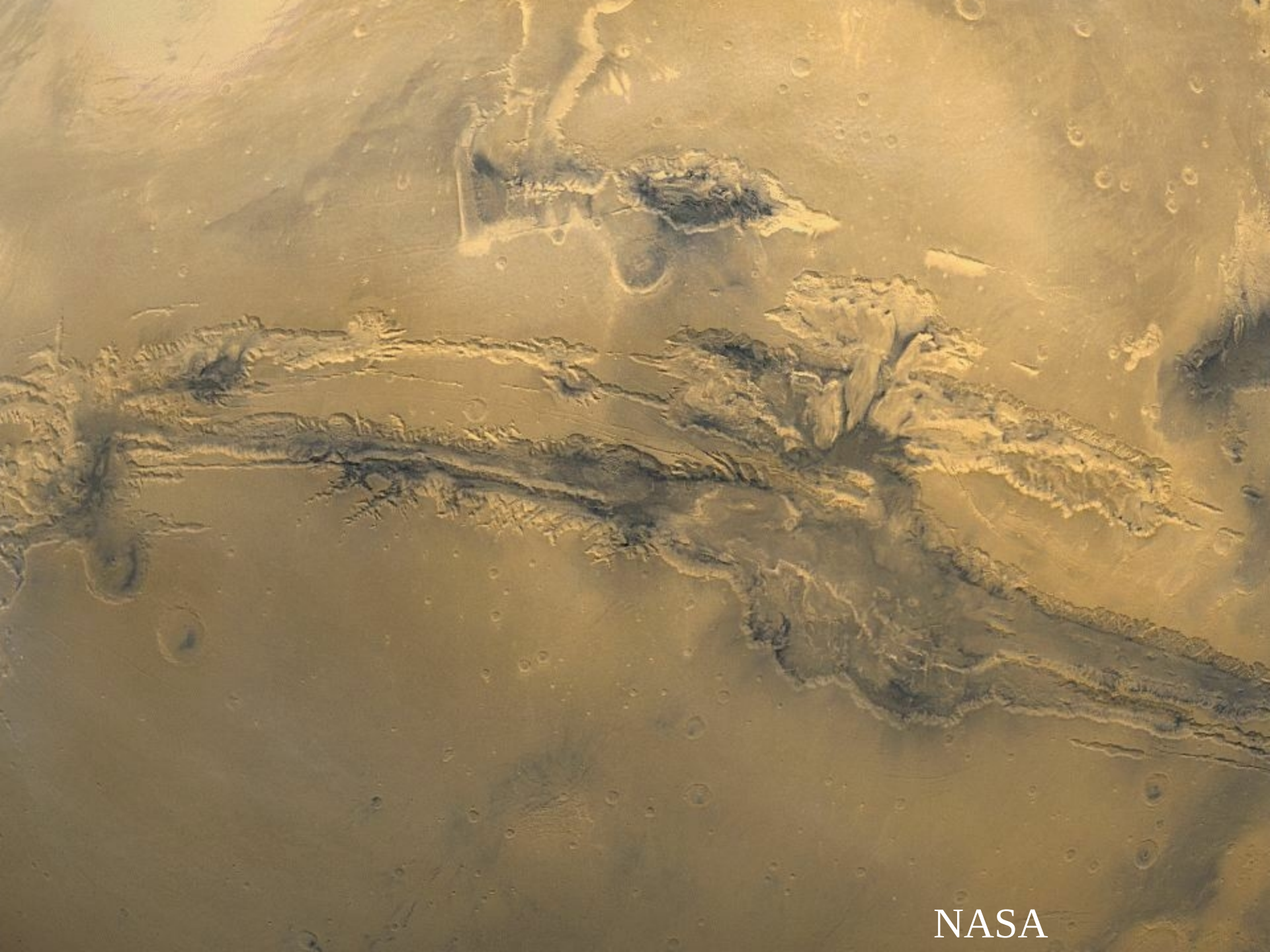
Pavonis Mons

Arsia Mons



300 km

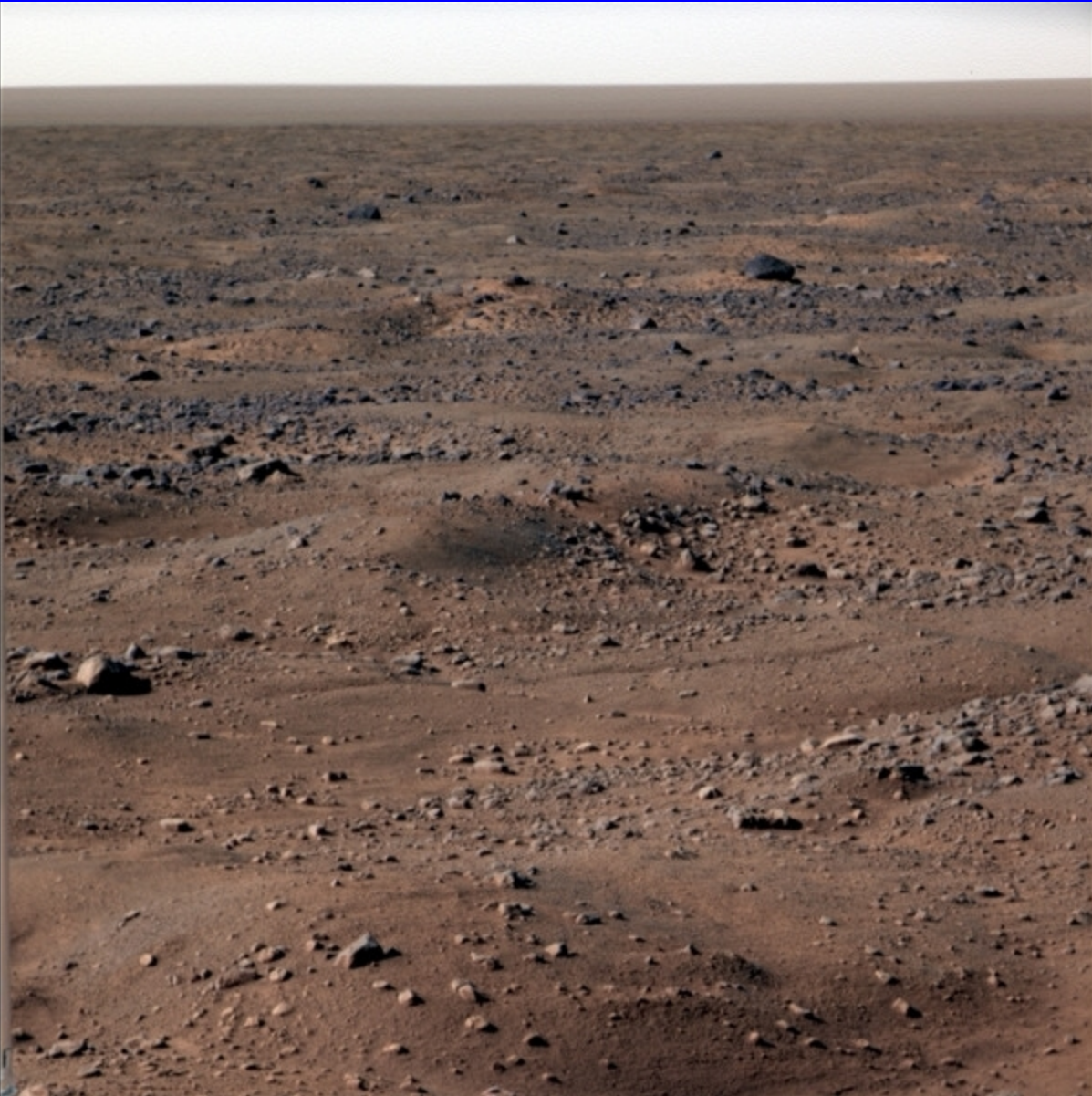
ESA



NASA



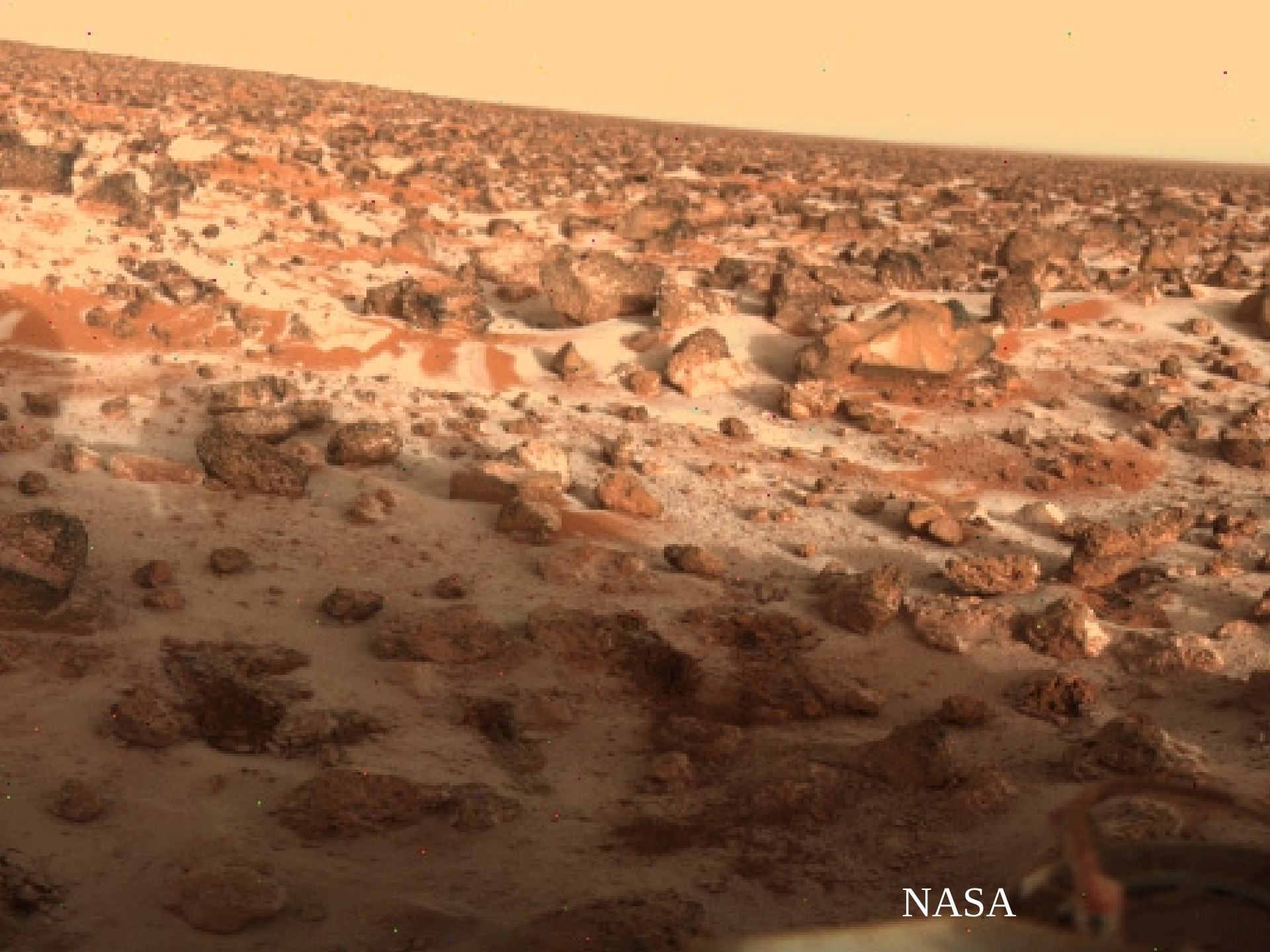
NASA



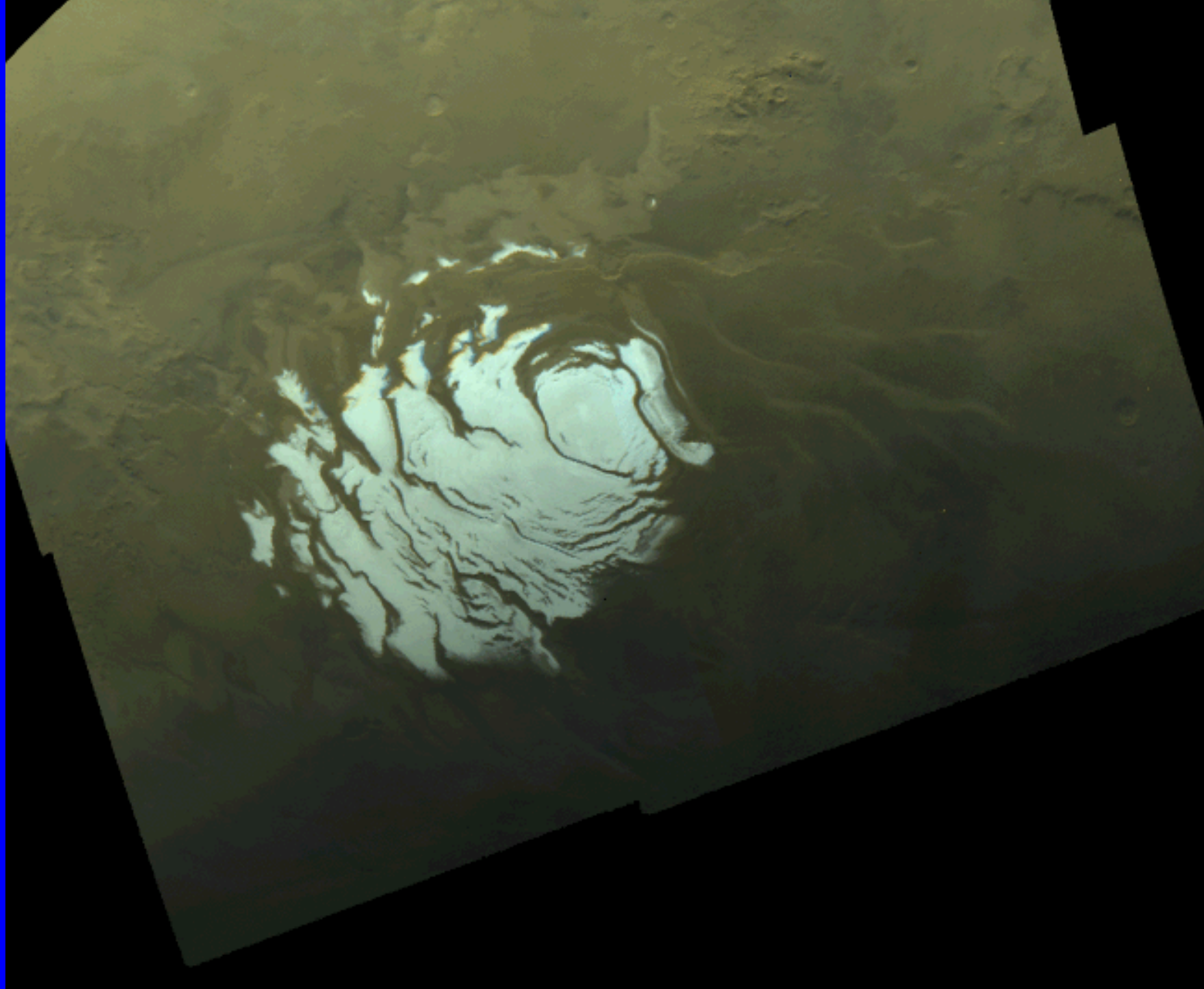
NASA



NASA



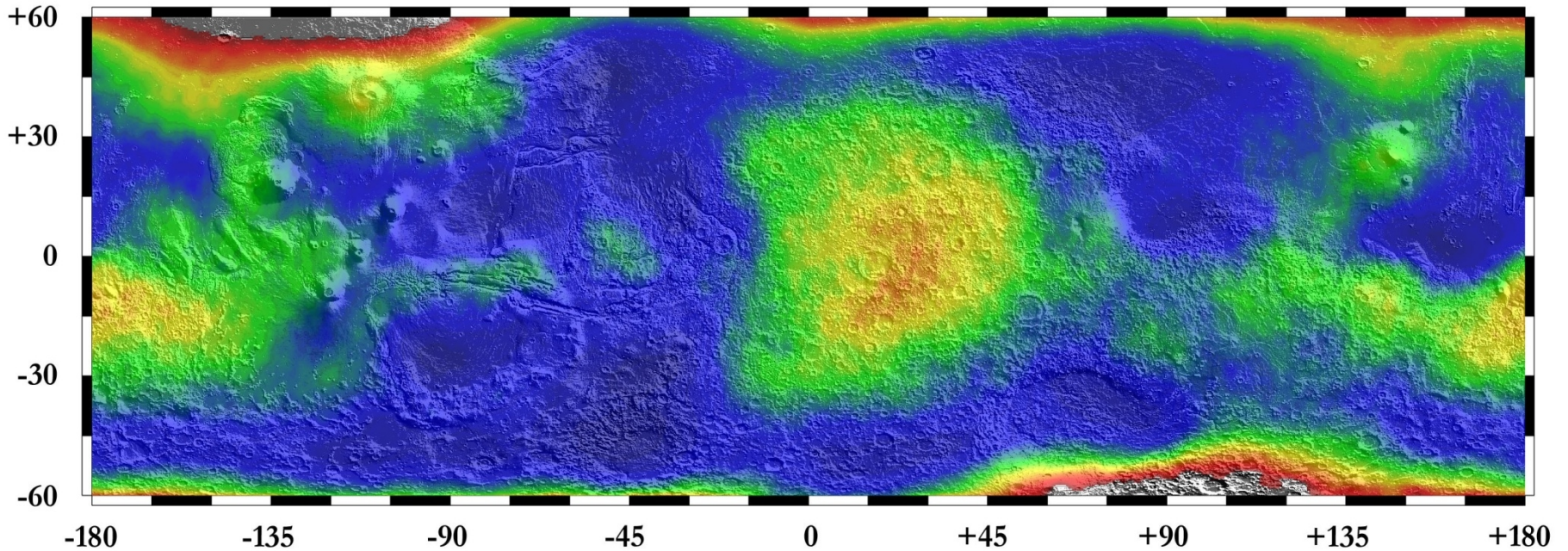
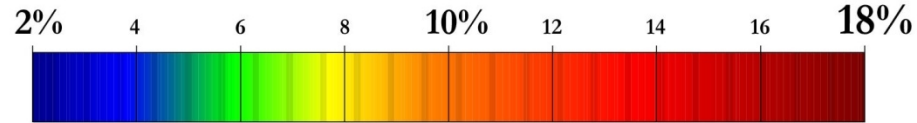
NASA



Marsin etelänapaa (NASA)



## Water Equivalent Hydrogen Abundance



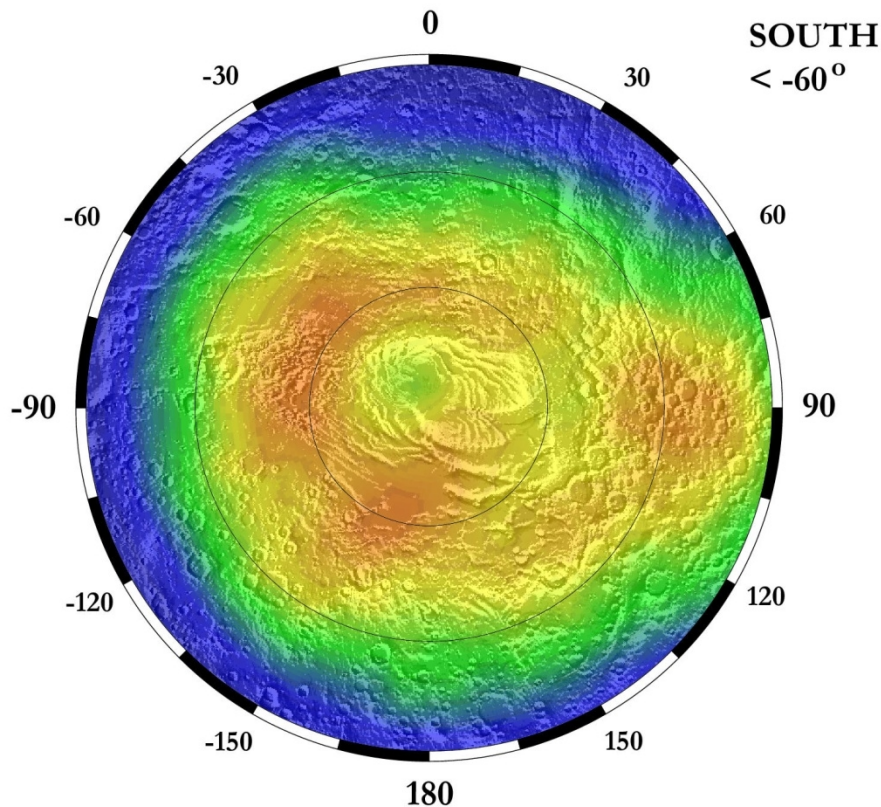
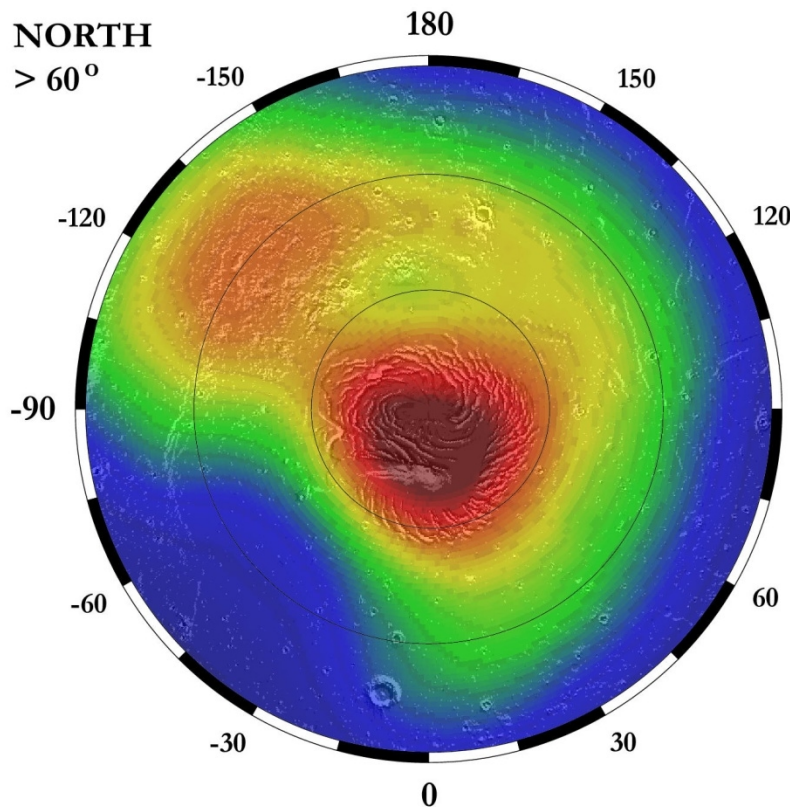
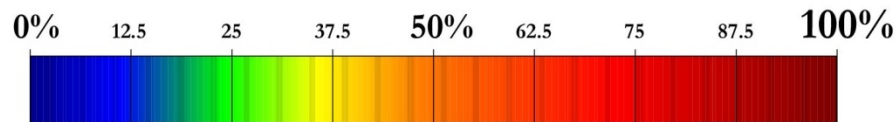
**Distribution of Water on Mars:** Overlay of water equivalent hydrogen abundances and a shaded relief map derived from MOLA topography. Mass percents of water were determined from epithermal neutron counting rates using the Neutron Spectrometer aboard Mars Odyssey between Feb. 2002 and Apr. 2003.

Reference: Feldman W. C., T. H. Prettyman, S. Maurice, J. J. Plaut, D. L. Bish, D. T. Vaniman, M. T. Mellon, A. E. Metzger, S. W. Squyres, S. Karunatillake, W. V. Boynton, R. C. Elphic, H. O. Funsten, D. J. Lawrence, and R. L. Tokar, The global distribution of near-surface hydrogen on Mars, *JGR-Planets*, submitted July 2003.

These data were generated by the Planetary Science Team at Los Alamos: B. Barraclough, D. Bish, D. Delapp, R. Elphic, W. Feldman, H. Funsten, O. Gasnaul\*, D. Lawrence, S. Maurice\*, G. McKinney, K. Moore, T. Prettyman, R. Tokar, D. Vaniman, and R. Wiens. \* Also at Observatoire Midi-Pyrenees, France

*The neutron spectrometer aboard Mars Odyssey, a component of the Gamma-ray Spectrometer suite of instruments, was designed and built by the Los Alamos National Laboratory and is operated by the University of Arizona in Tucson. The Mars Odyssey mission is managed by the Jet Propulsion Laboratory.*

# Water Equivalent Hydrogen Abundance

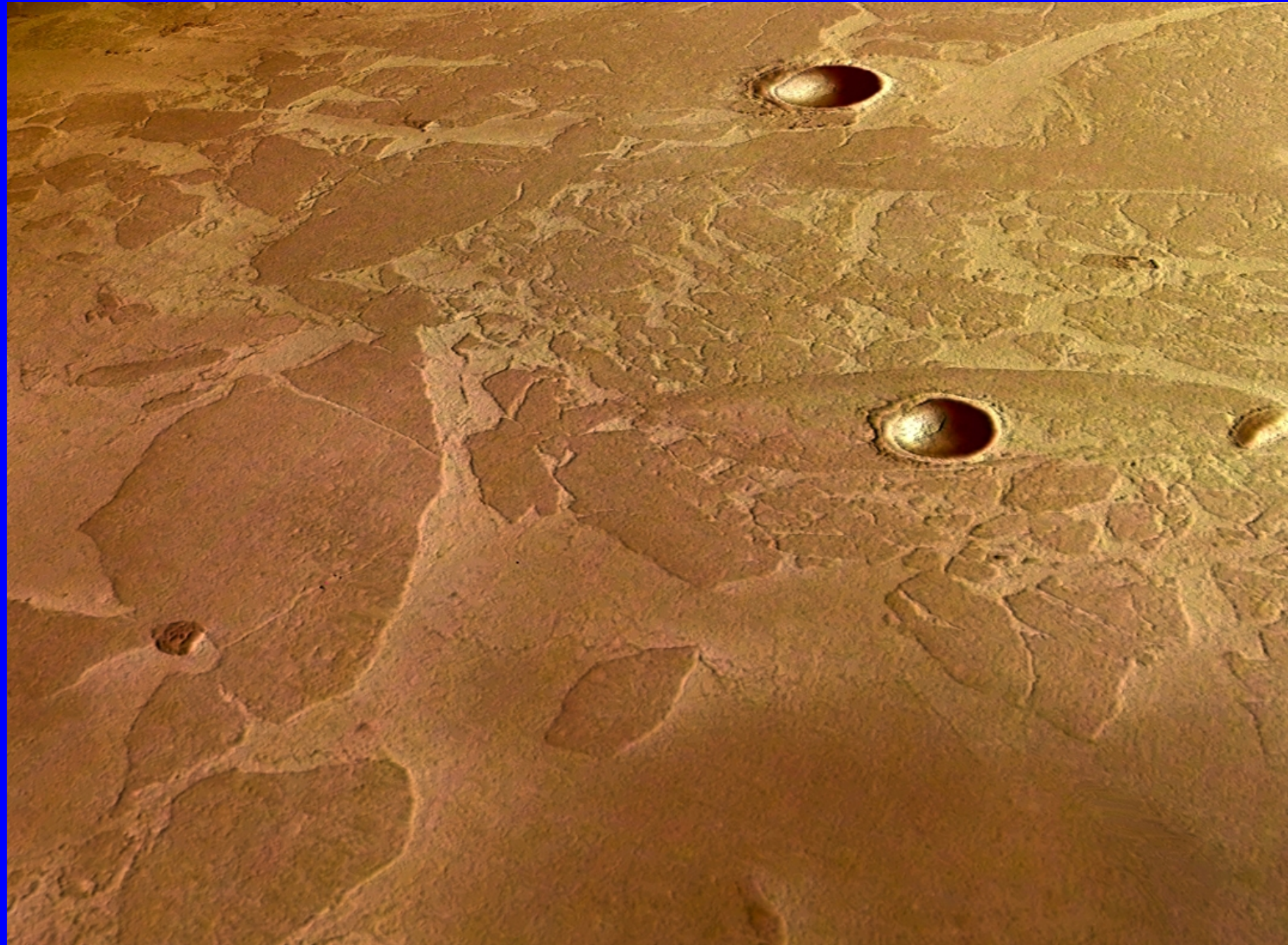


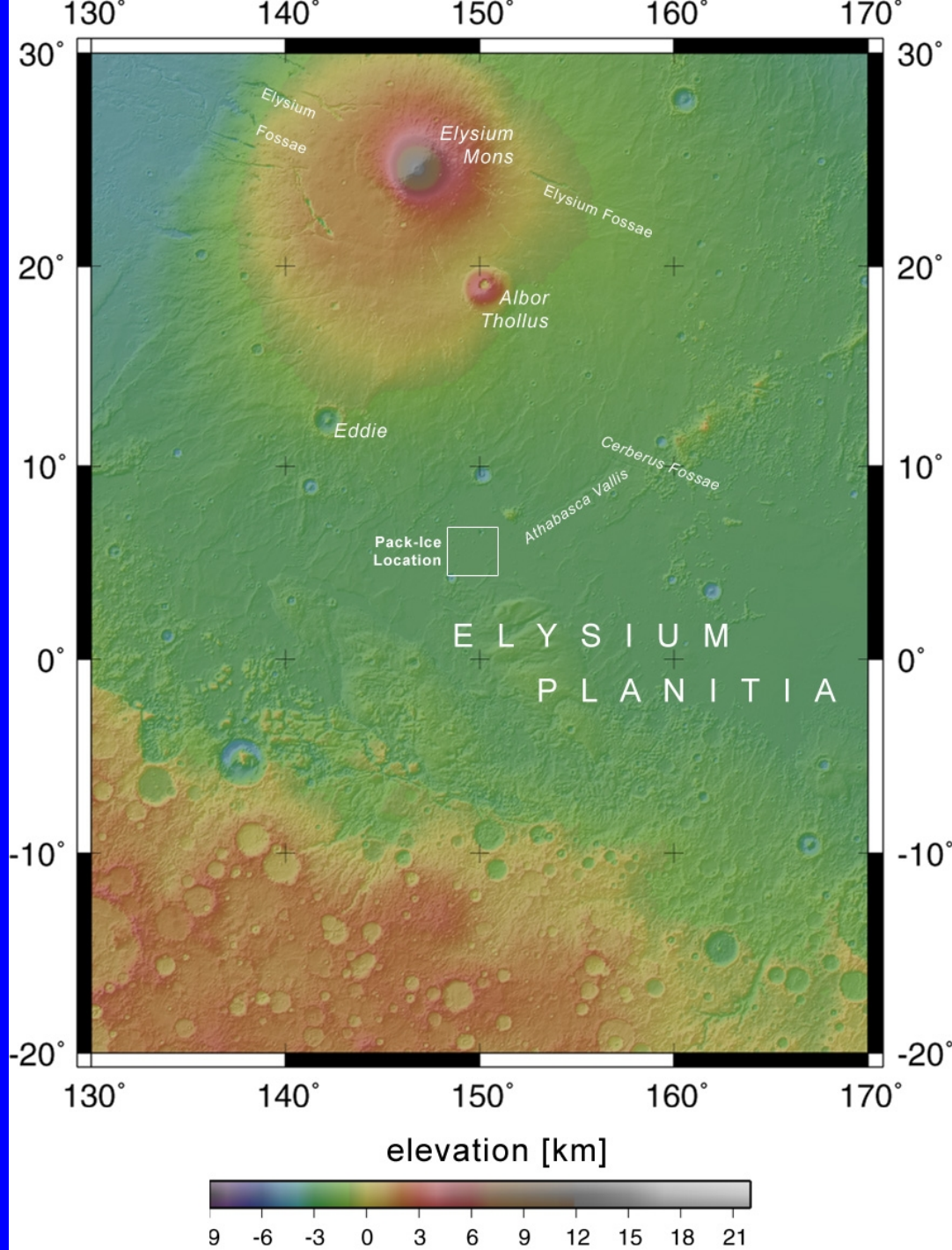
**Distribution of Water on Mars:** Overlay of water equivalent hydrogen abundances and a shaded relief map derived from MOLA topography. Mass percents of water were determined from epithermal neutron counting rates using the Neutron Spectrometer aboard Mars Odyssey between Feb. 2002 and Apr. 2003.

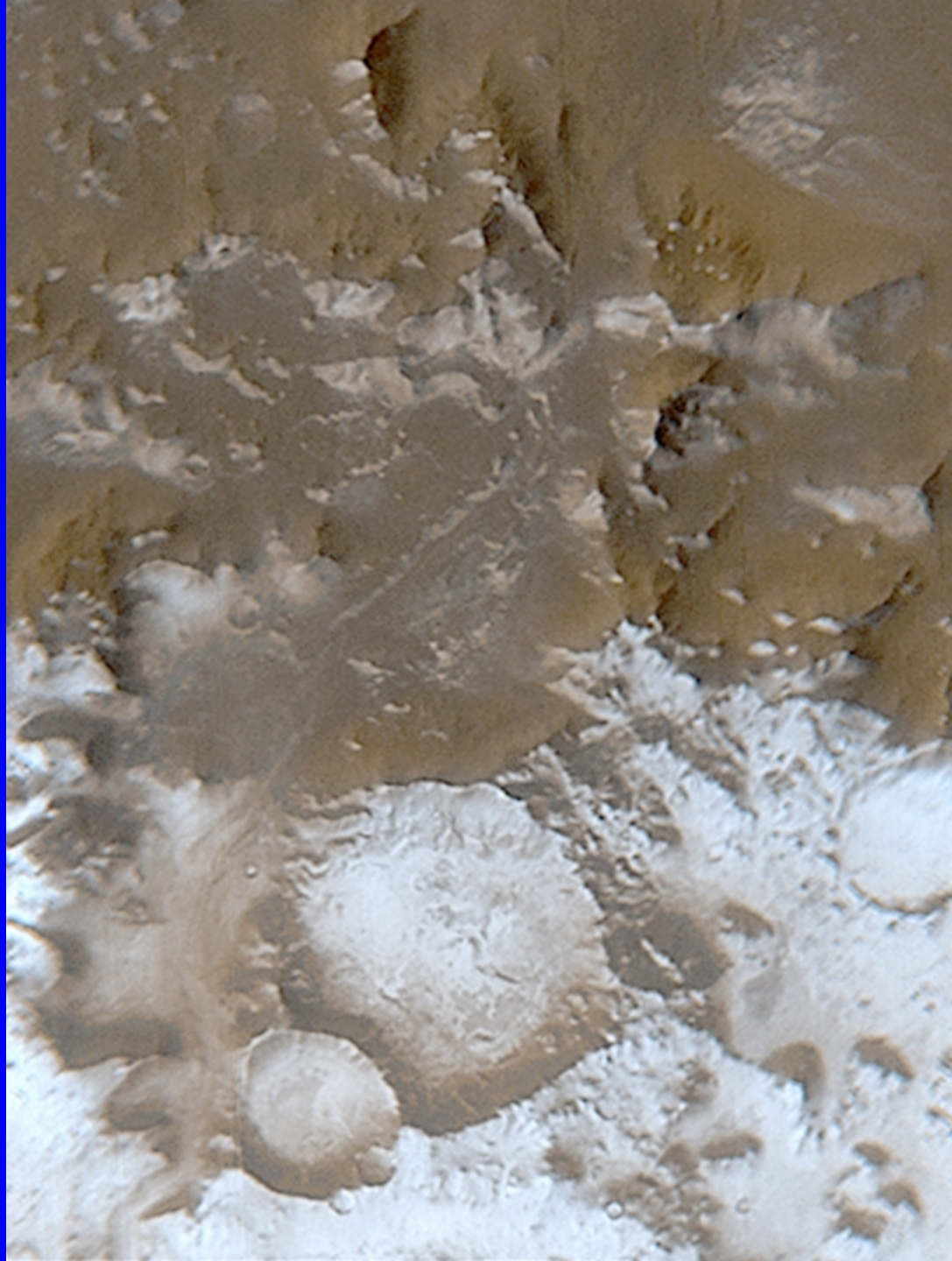
Reference: Feldman W. C., T. H. Prettyman, S. Maurice, J. J. Plaut, D. L. Bish, D. T. Vaniman, M. T. Mellon, A. E. Metzger, S. W. Squyres, S. Karunanithi, W. V. Boynton, R. C. Elphic, H. O. Funsten, D. J. Lawrence, and R. L. Tokar, The global distribution of near-surface hydrogen on Mars, *JGR-planetis*, submitted July 2003.

These data were generated by the Planetary Science Team at Los Alamos: B. Barraclough, D. Bish, D. Delapp, R. Elphic, W. Feldman, H. Funsten, O. Gasnault\*, D. Lawrence, S. Maurice\*, G. McKinney, K. Moore, T. Prettyman, R. Tokar, D. Vaniman, and R. Wiens. \* Also at Observatoire Midi-Pyrenees, France

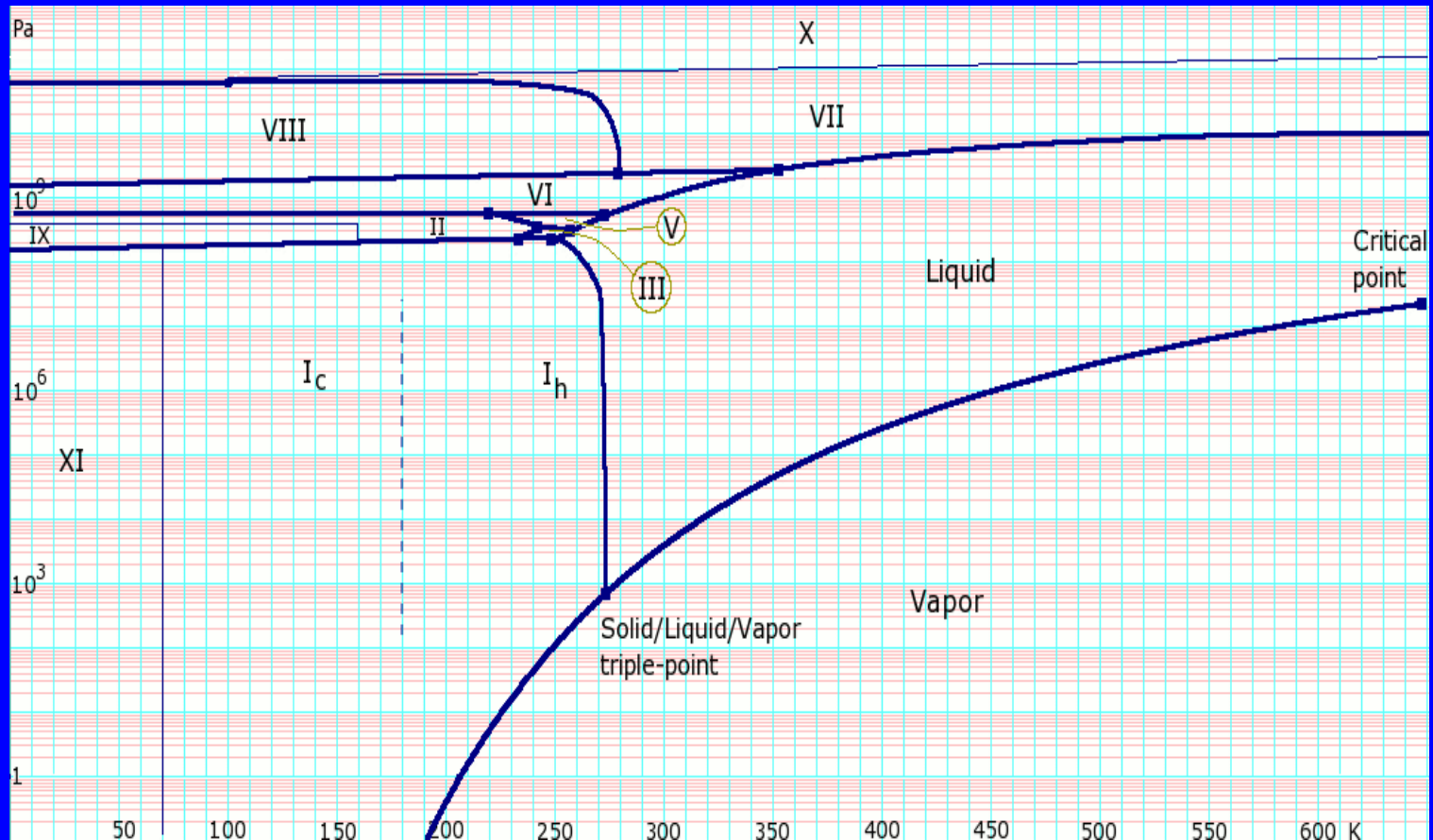
The neutron spectrometer aboard Mars Odyssey, a component of the Gamma-ray Spectrometer suite of instruments, was designed and built by the Los Alamos National Laboratory and is operated by the University of Arizona in Tucson. The Mars Odyssey mission is managed by the Jet Propulsion Laboratory.







# Vapaata vettä Marsissa? (veden faasidiagrammi)



Sol 20



—  
2/3"

Sol 24

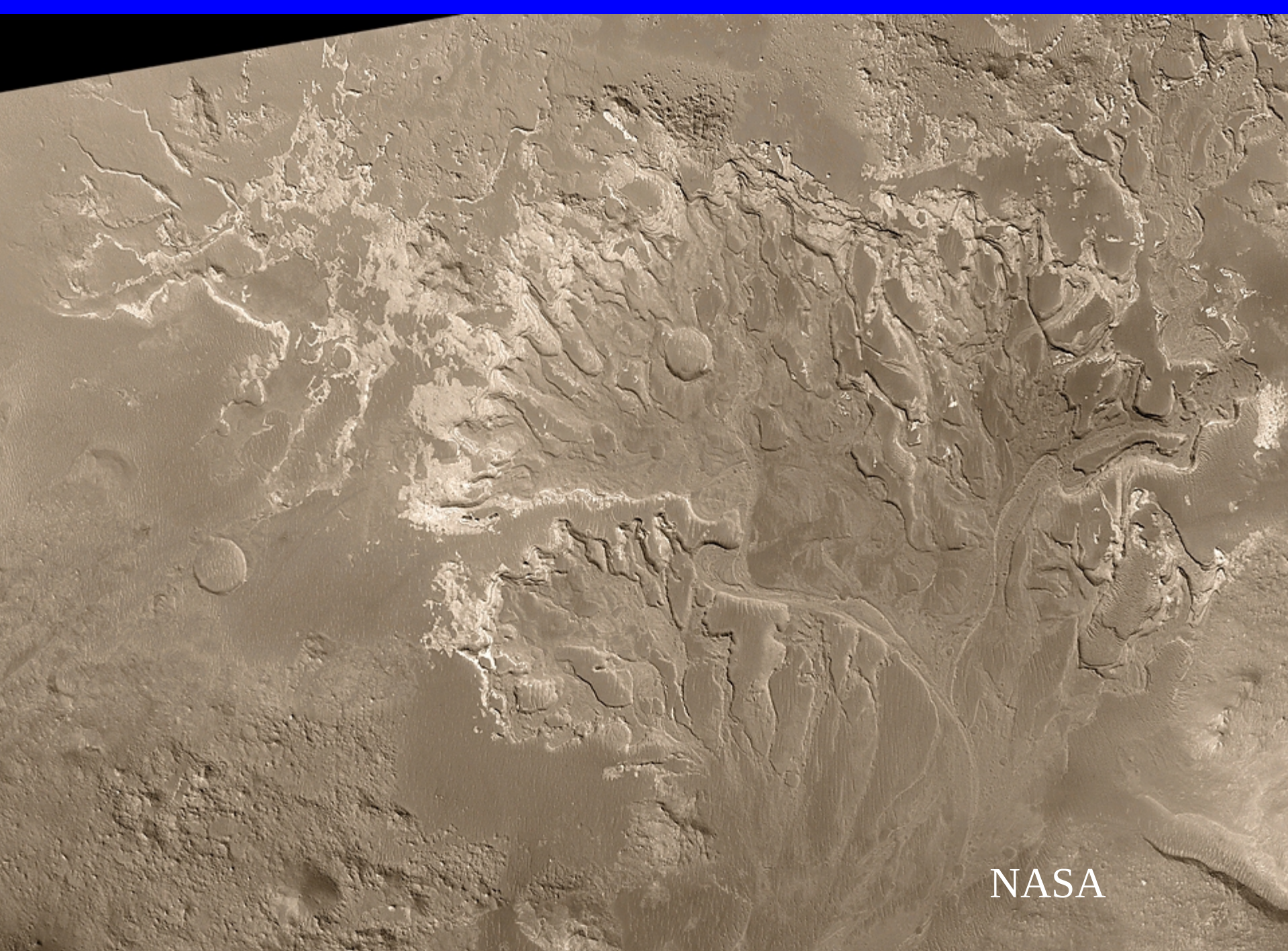




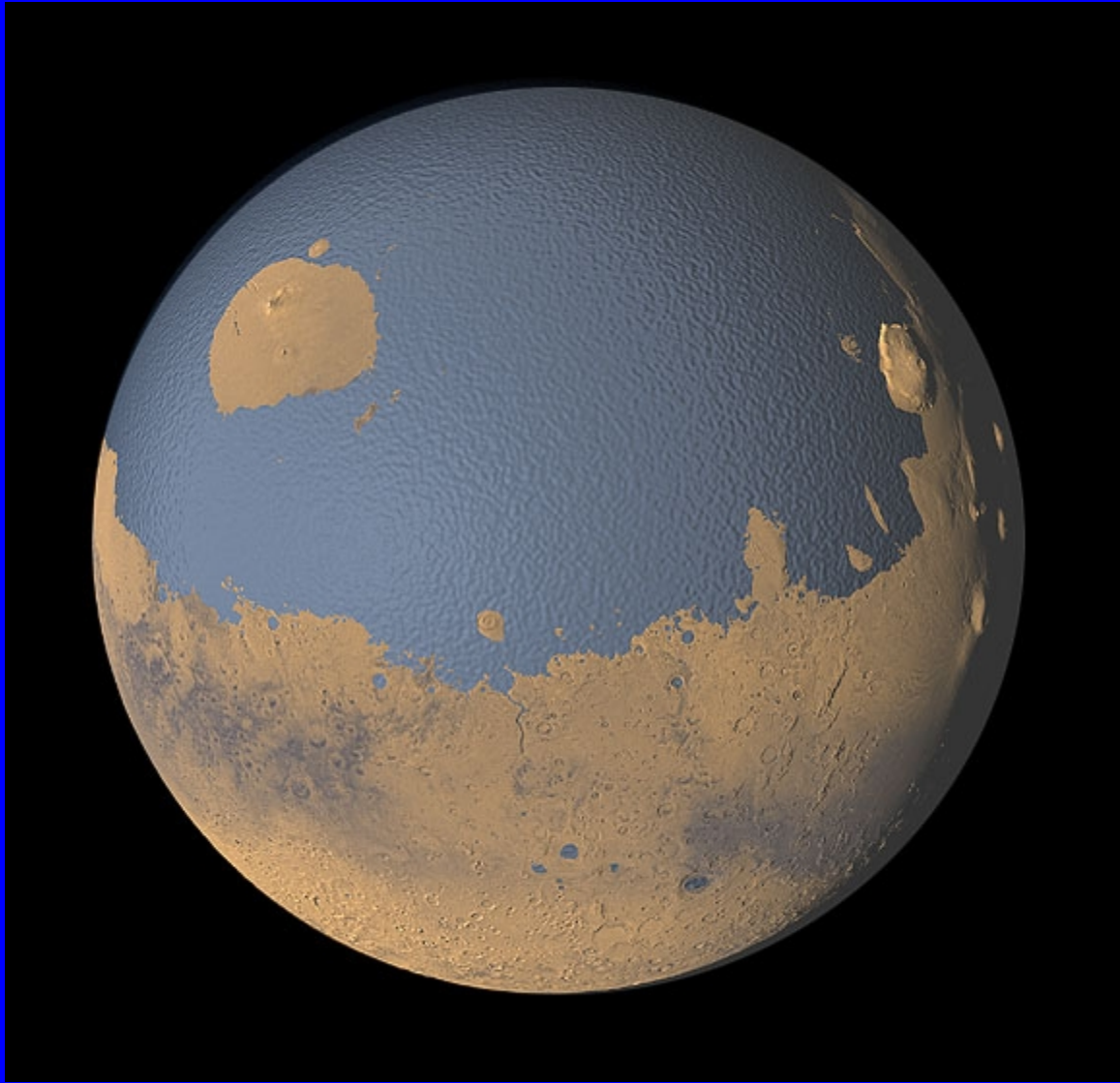
440 yd  
400 m

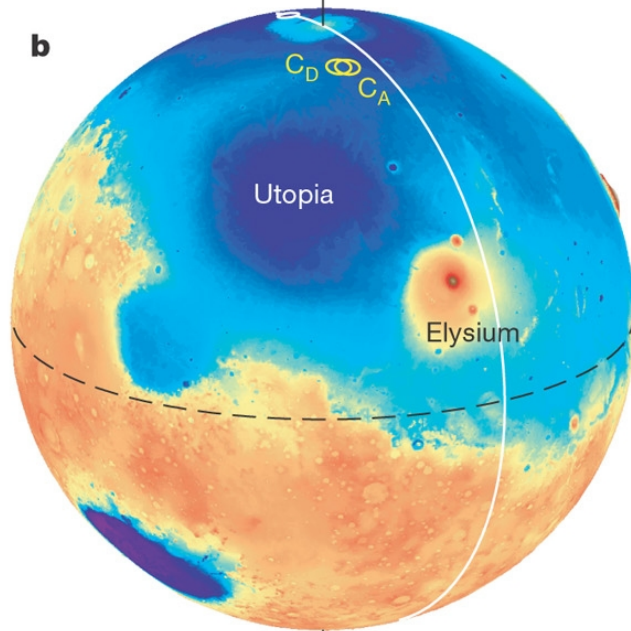
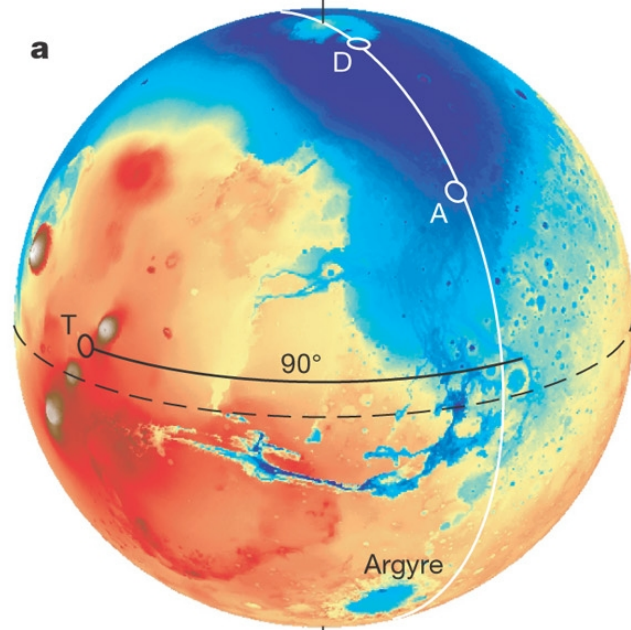
NASA





NASA

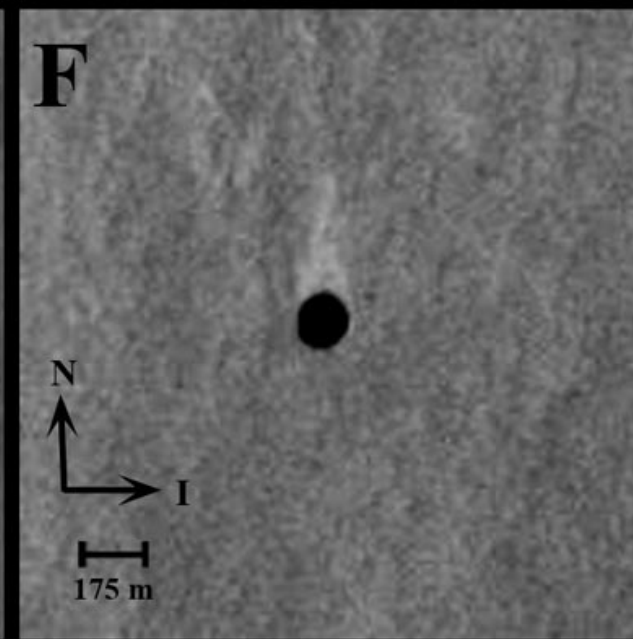
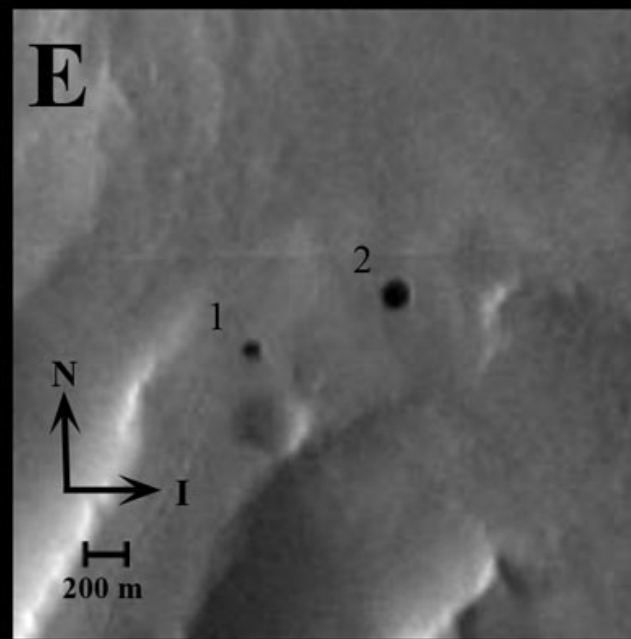
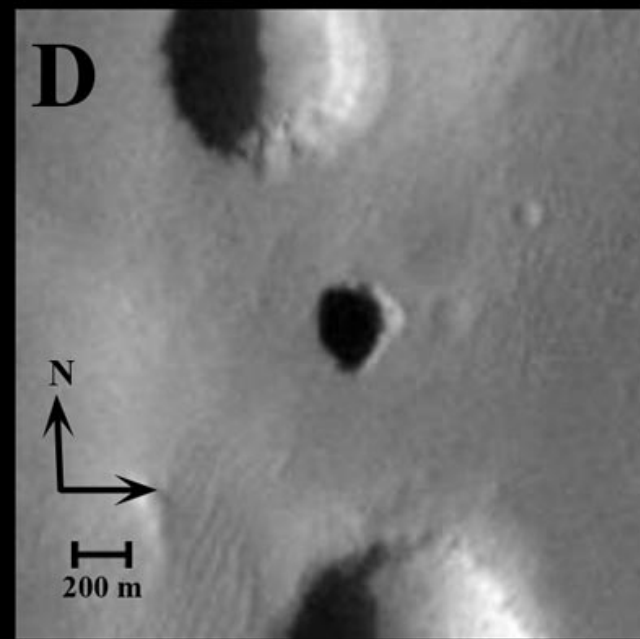
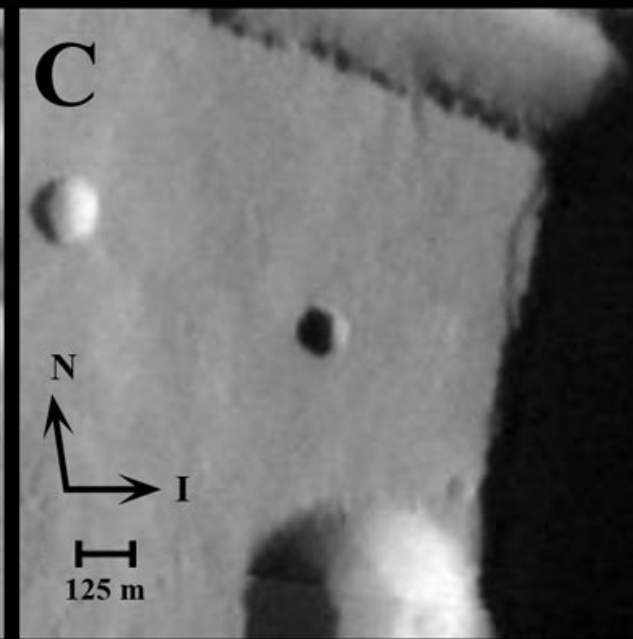
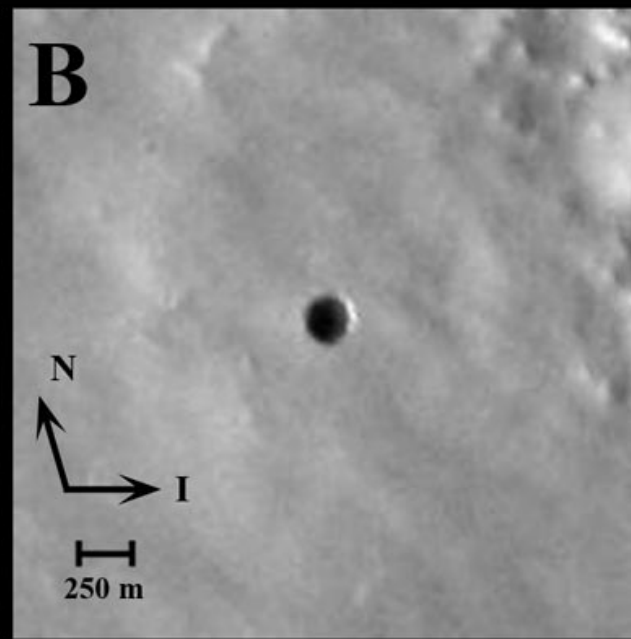
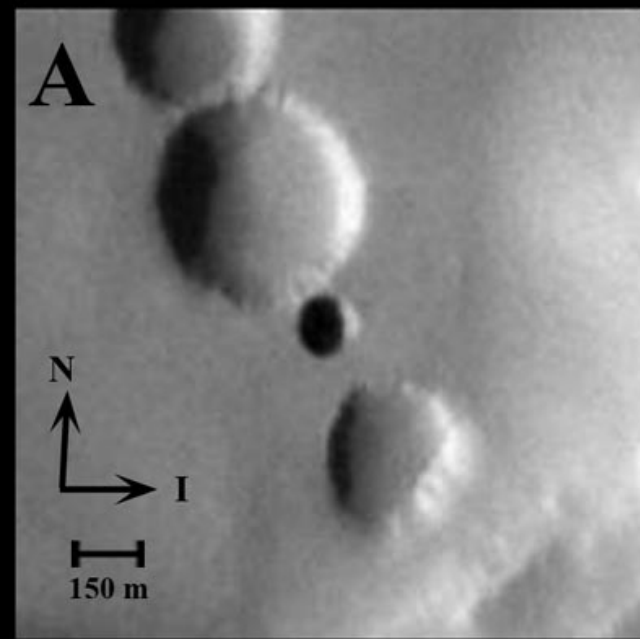


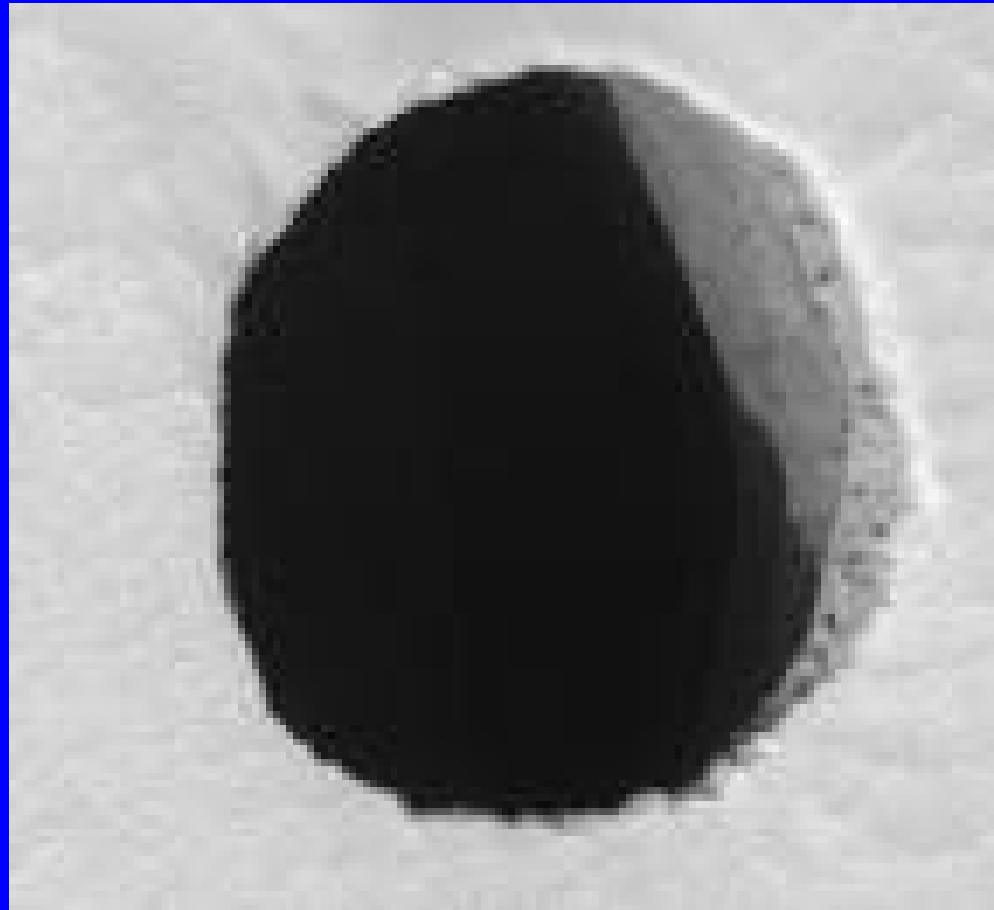


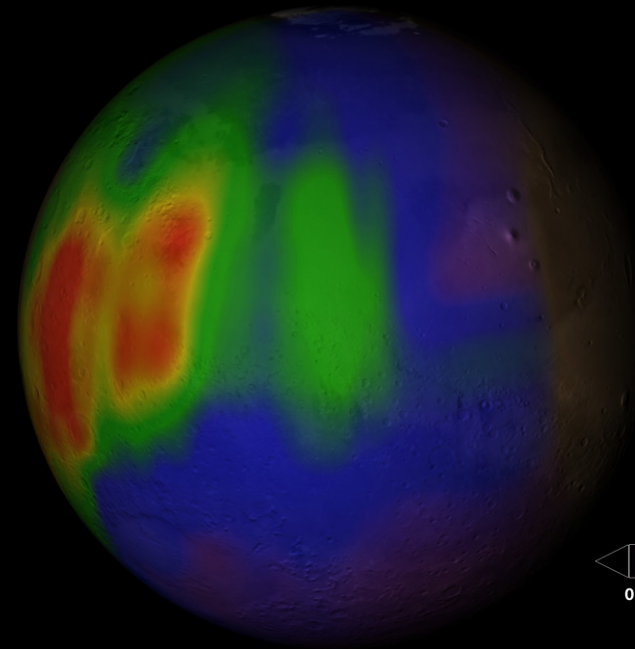
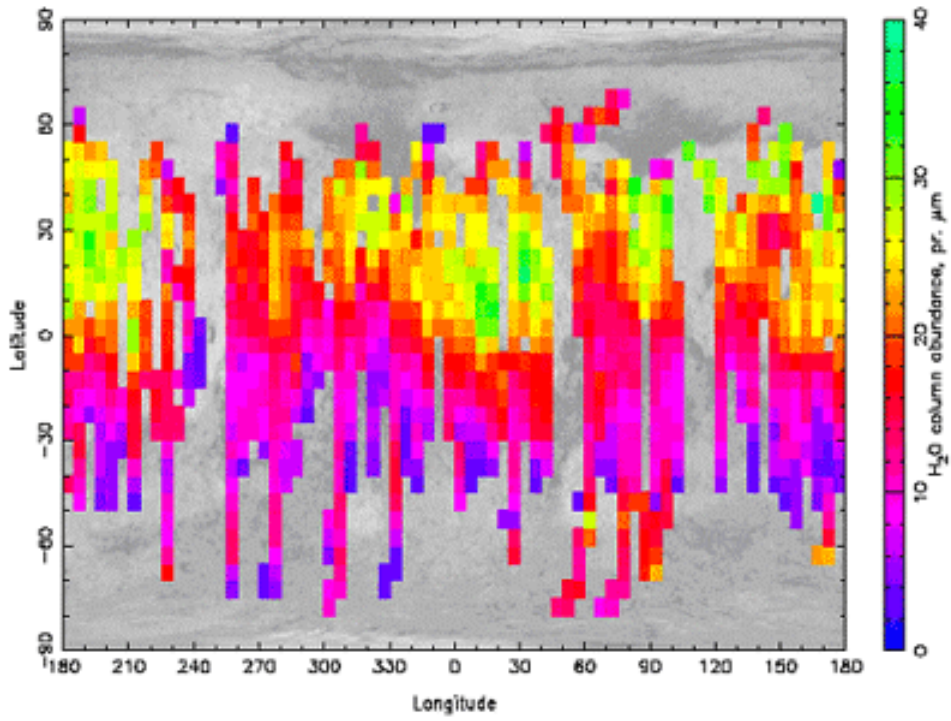
# Vettä Marsissa

- Napajäätiköt
- Kuuraa/Lunta (Viking)
- Pinnan alla olevaa jäätä (Phoenix)
- Jäätynyt meri (MRO)
- Vesijääpilviä
- Jäätä kraatterin pohjalla
- Valuma jälkiä kraattereissa ja kanjonien reunoissa
- Hematiitti ja muut vettä vaativat mineraalit
- Sedimenttikerrostumat kivissä
- Veden virtausjälkiä
- Muinaisen meren ääriiviiva

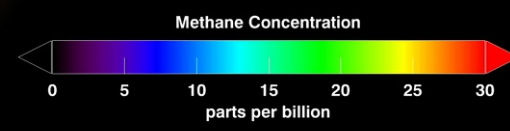
# Marsin reiät (NASA)



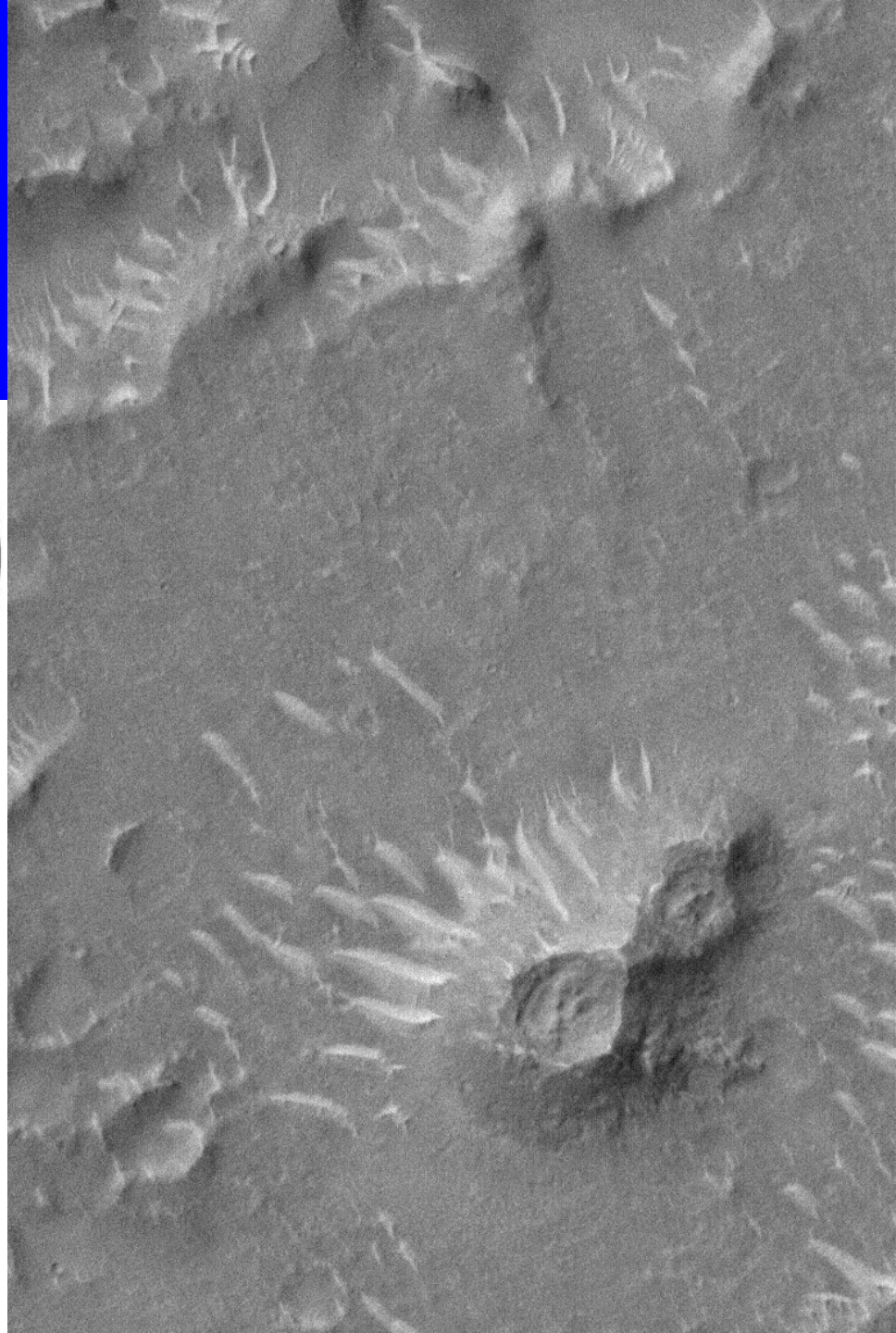
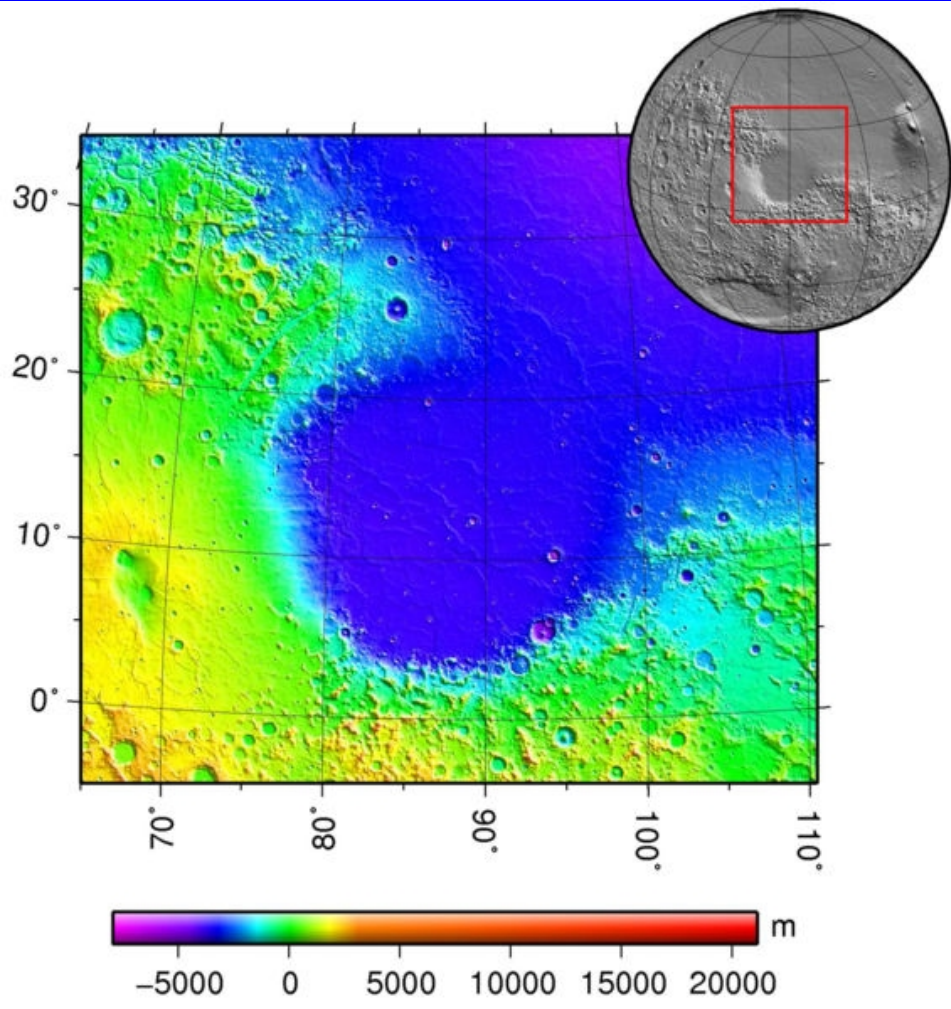




Methane release:  
Northern summer



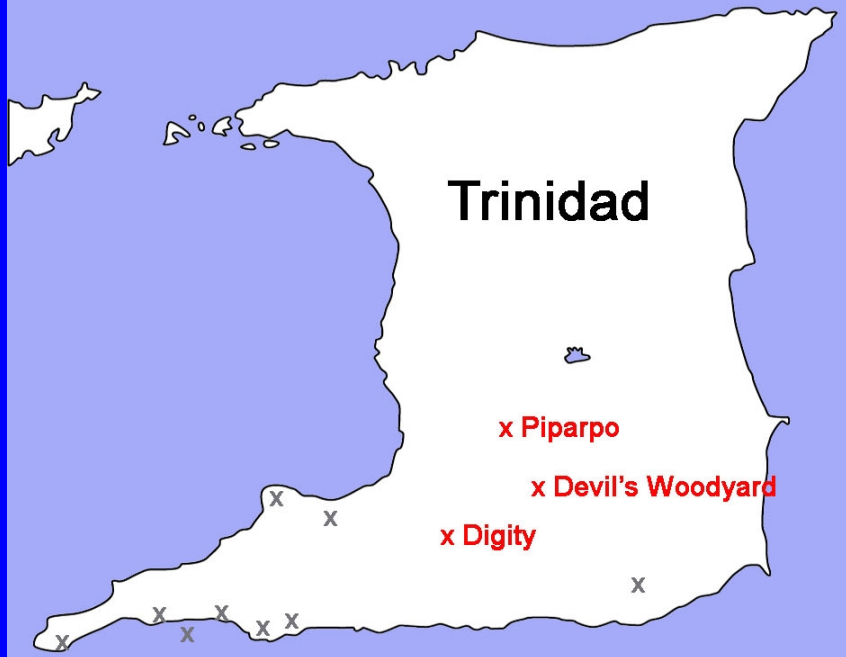
# Isidis Planitia







Tobago



Trinidad

x Piparpo

x Devil's Woodyard

x Dignty



Venezuela



Piparo Mud Volcano, Trinidad

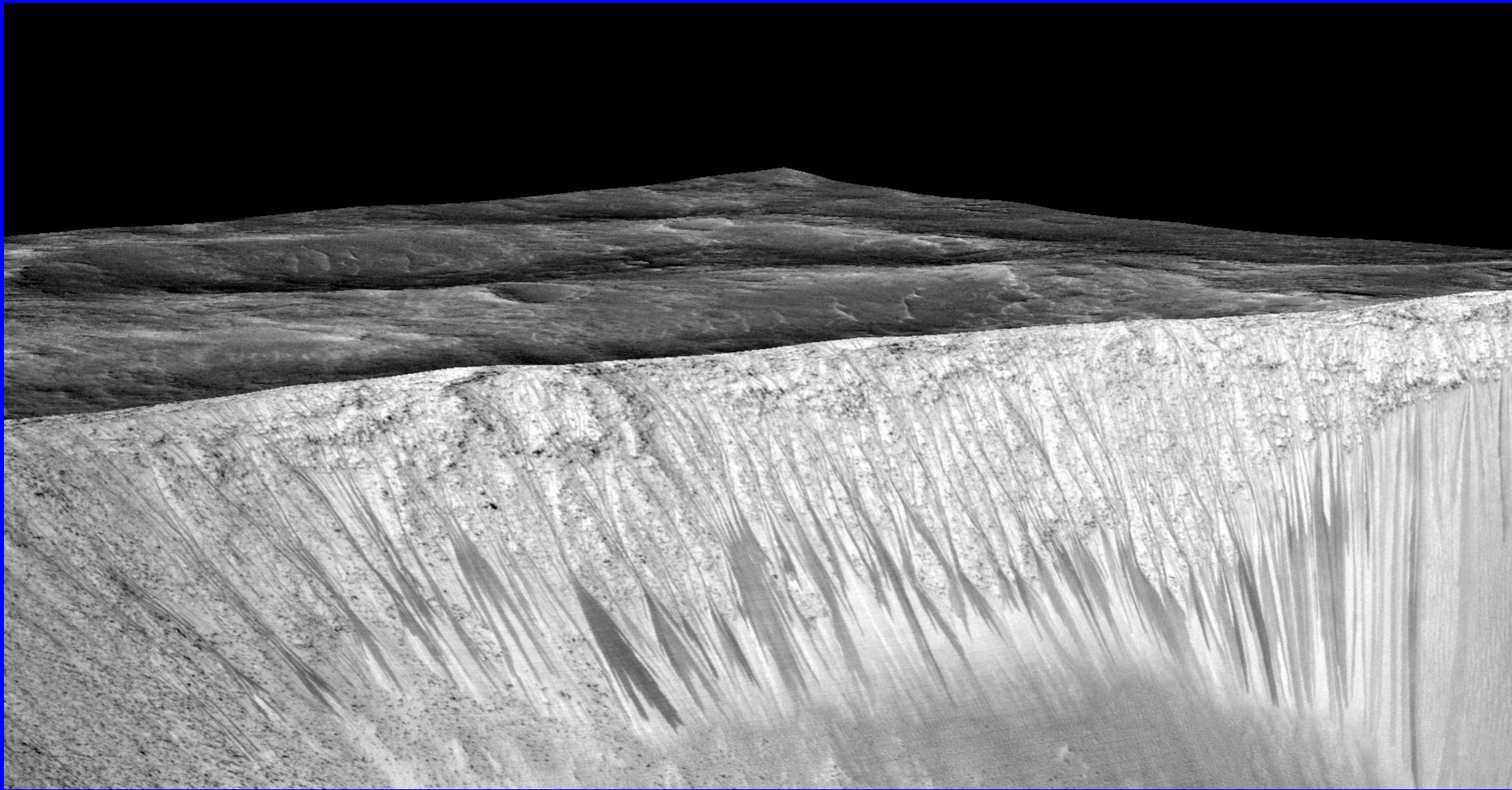
# Mars II

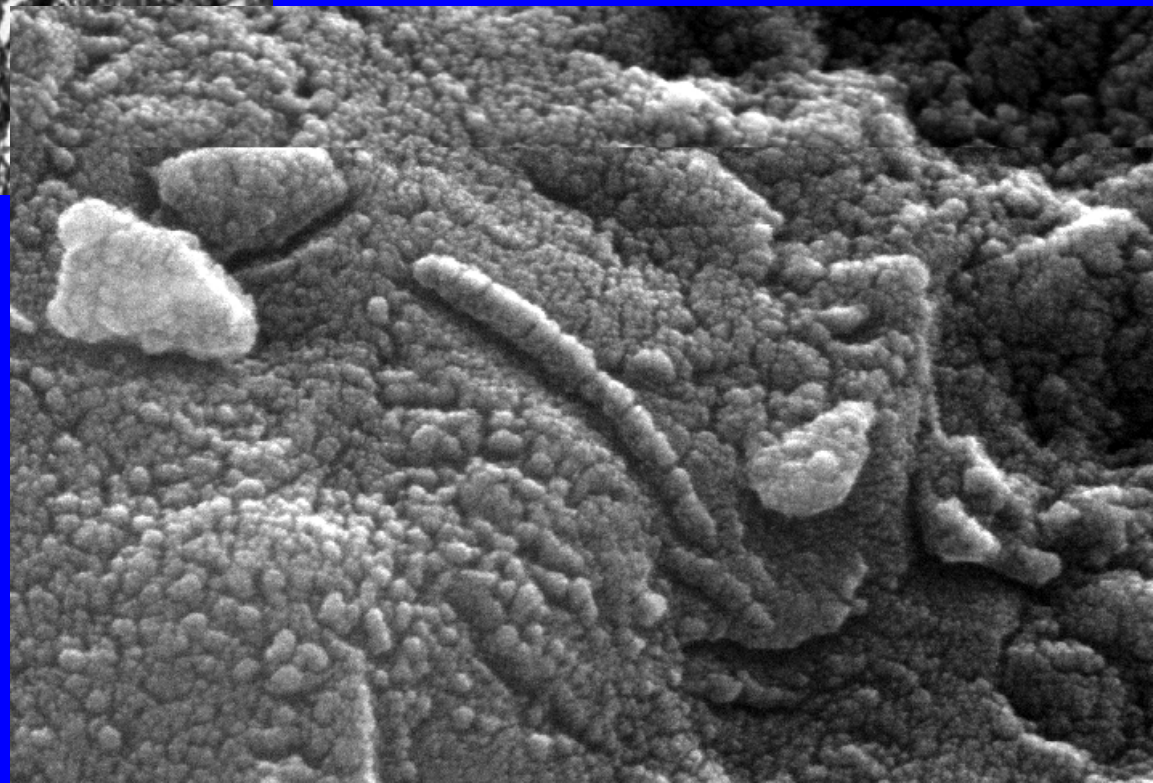
- Vesi ei voi Marsin ilmanpaineessa esiintyä nestemäisenä pitkää aikaa → kaasua tai kiinteää
- Vapaa nestemäinen vesi haihtuu muutamassa tunnissa – päivissä.
- Marsin napajäätiköt suureksi osaksi vesijäätä ja talvisin ohut, pinta-alaltaan laaja kerros hiilidioksidihuurretta (osa Marsin ilmakehästä!).
- Hiilidioksidihuurteen vuoksi Marsin ilmanpaine vaihtelee noin 30% ollen matalimmillaan kesällä ja talvella.

# Mars III

Marsissa virtaa nyt perkloraattivesi!  $\text{NaClO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

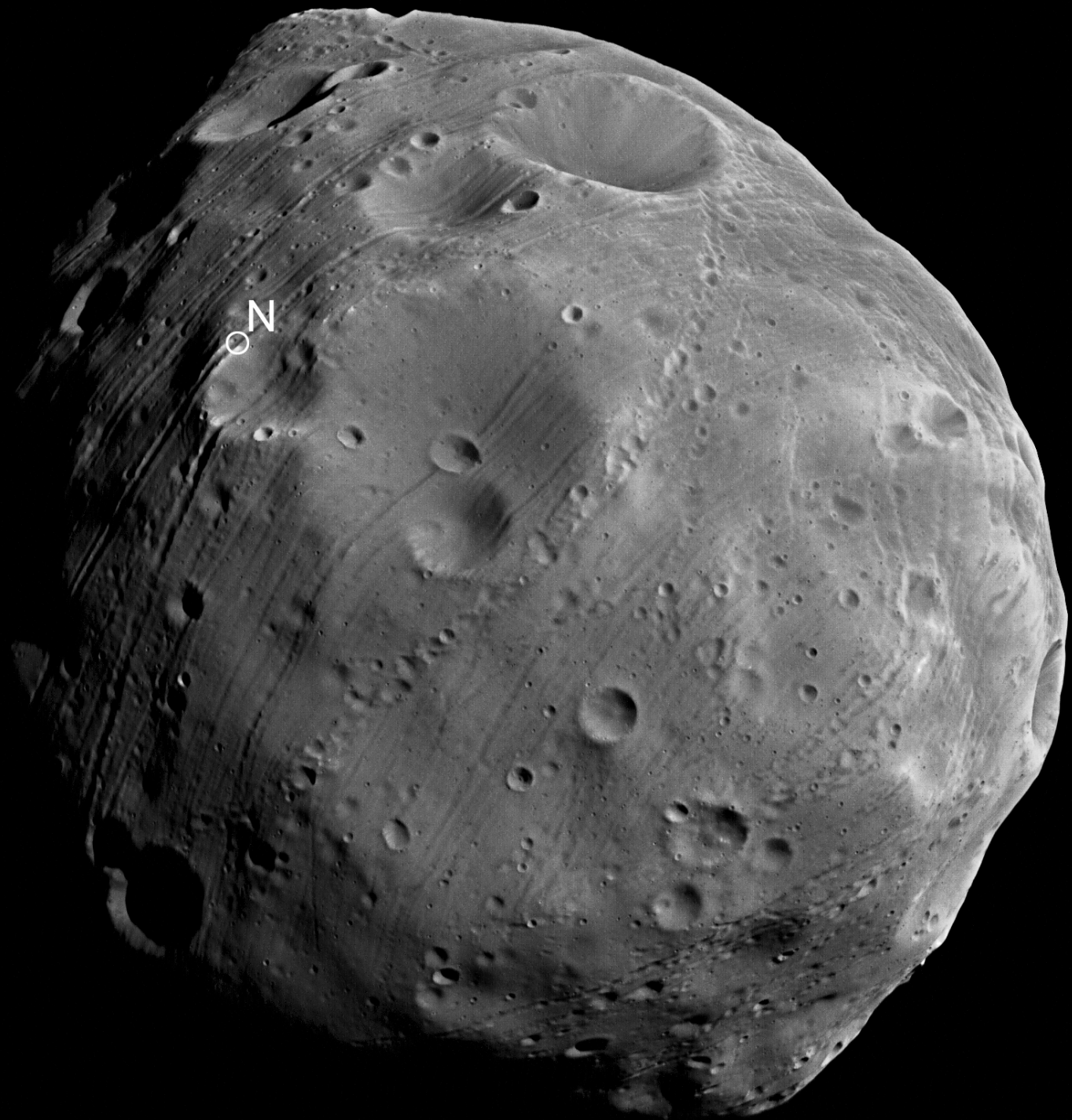
Pysyy Marsin ilmakehässä nestemäisenä -70C-+24C

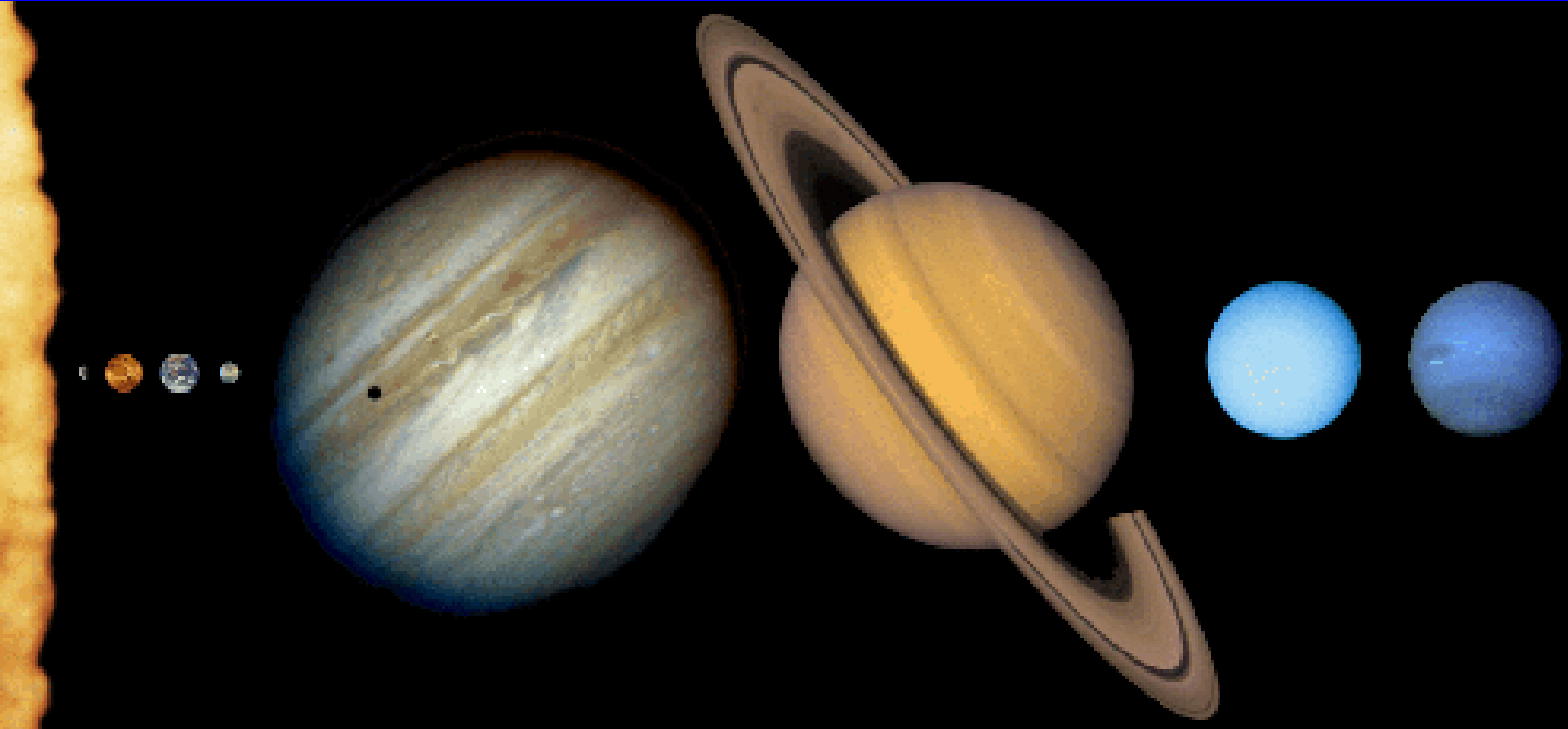




# Mahdolliset Marsilaiset

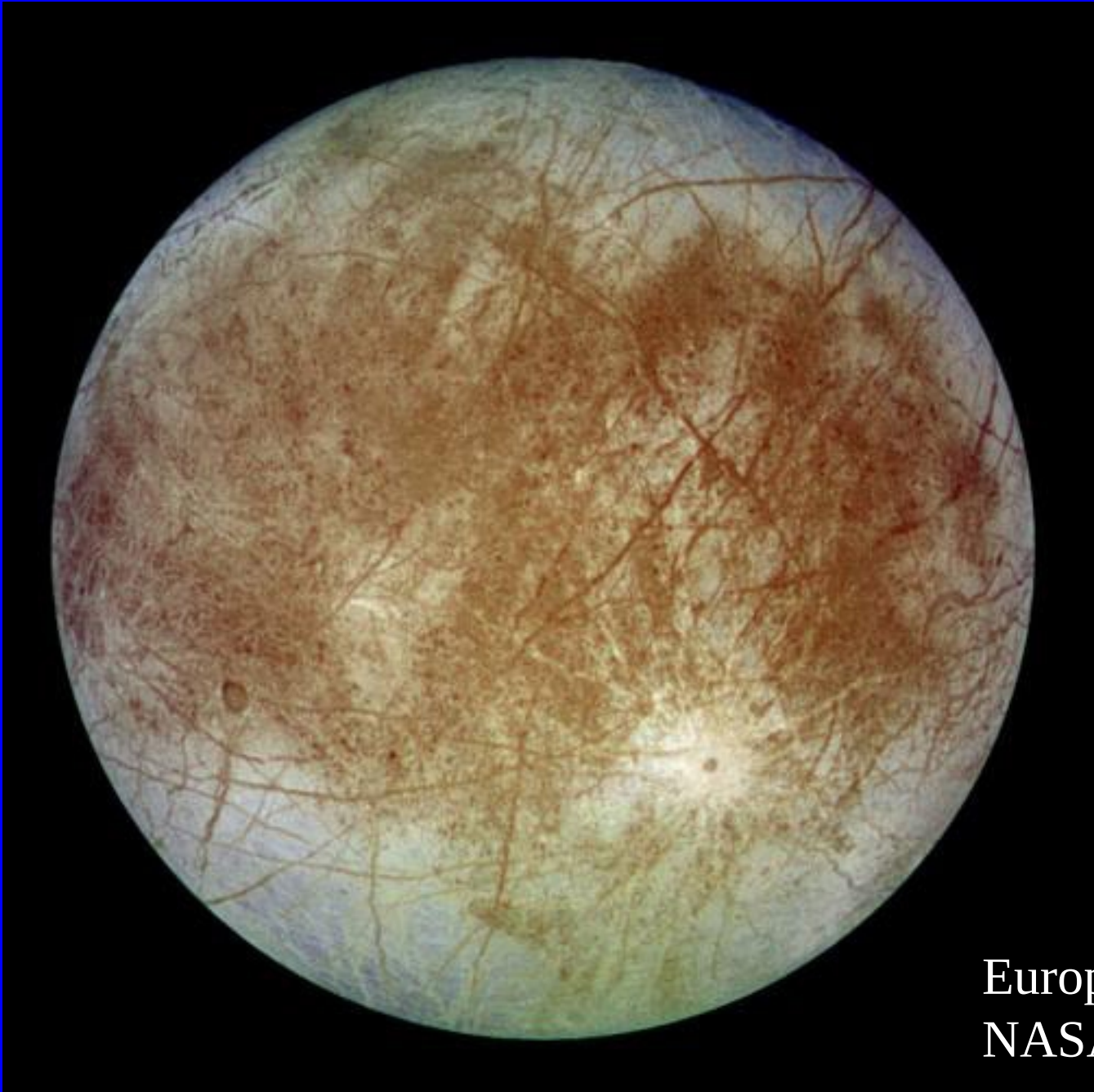
- ALH84001 ?
- Marsin pinta melko vihamielinen elämälle
  - UV säteily → *Deinococcus radiodurans*?
  - Kuiva, tuulinen ja ehkä sähköinen
- Pinnan alla saattaa olla muinaista vettä, joka olisi luonnollinen pakopaikka elämälle.
- Marsin pinnan alaiset järvet ja meret?
- Reiät, mutatulivuoret, perkloraattivesi?
- Perustuotannon pitäisi ehkä nykyisin perustua kemotrofiaan – kivensyöjiä tai vedyn hapettamiseen ja hiilen pelkistämiseen?
- Jos ei nykyisin ole enää elämää, niin fossiileja voisi löytyä.



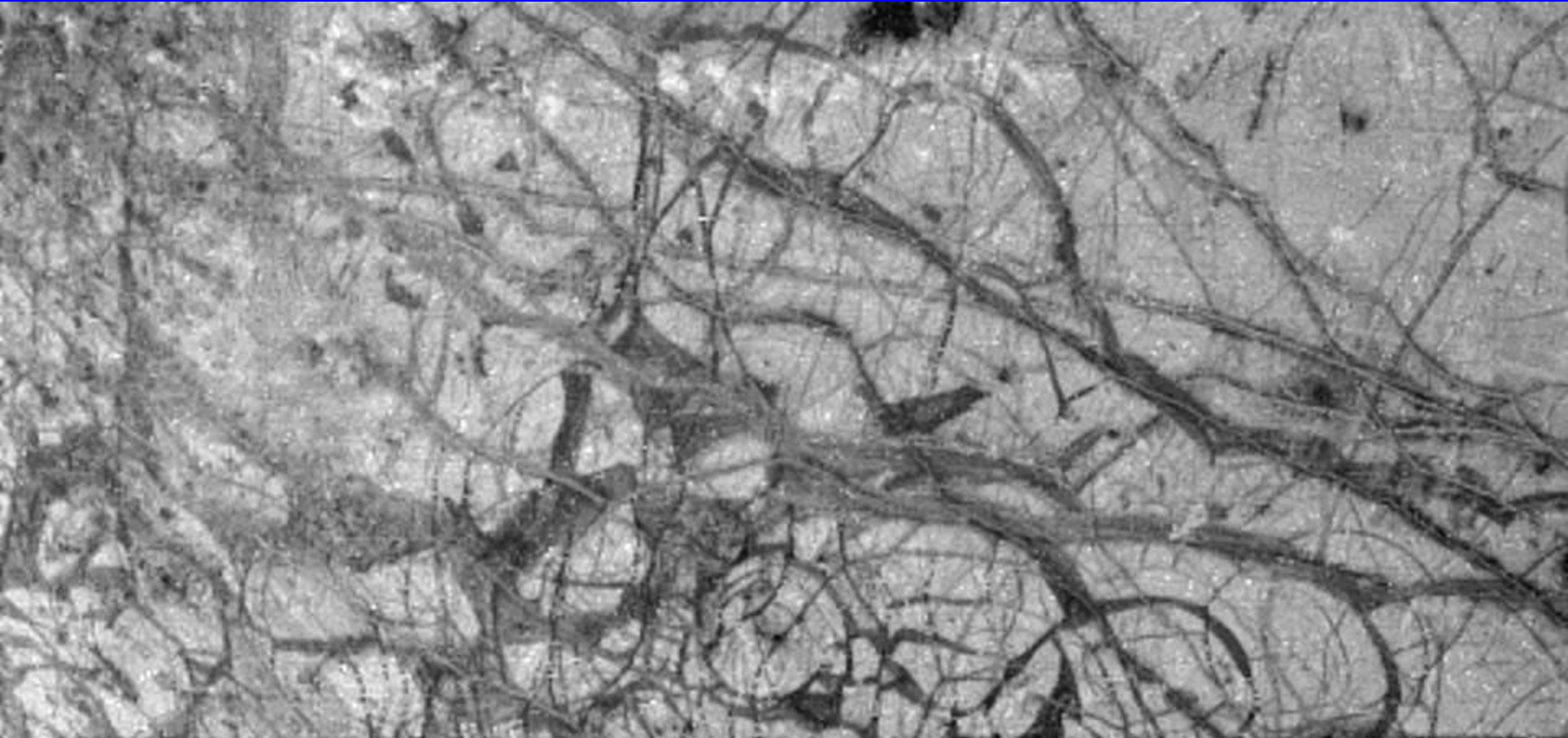


NASA

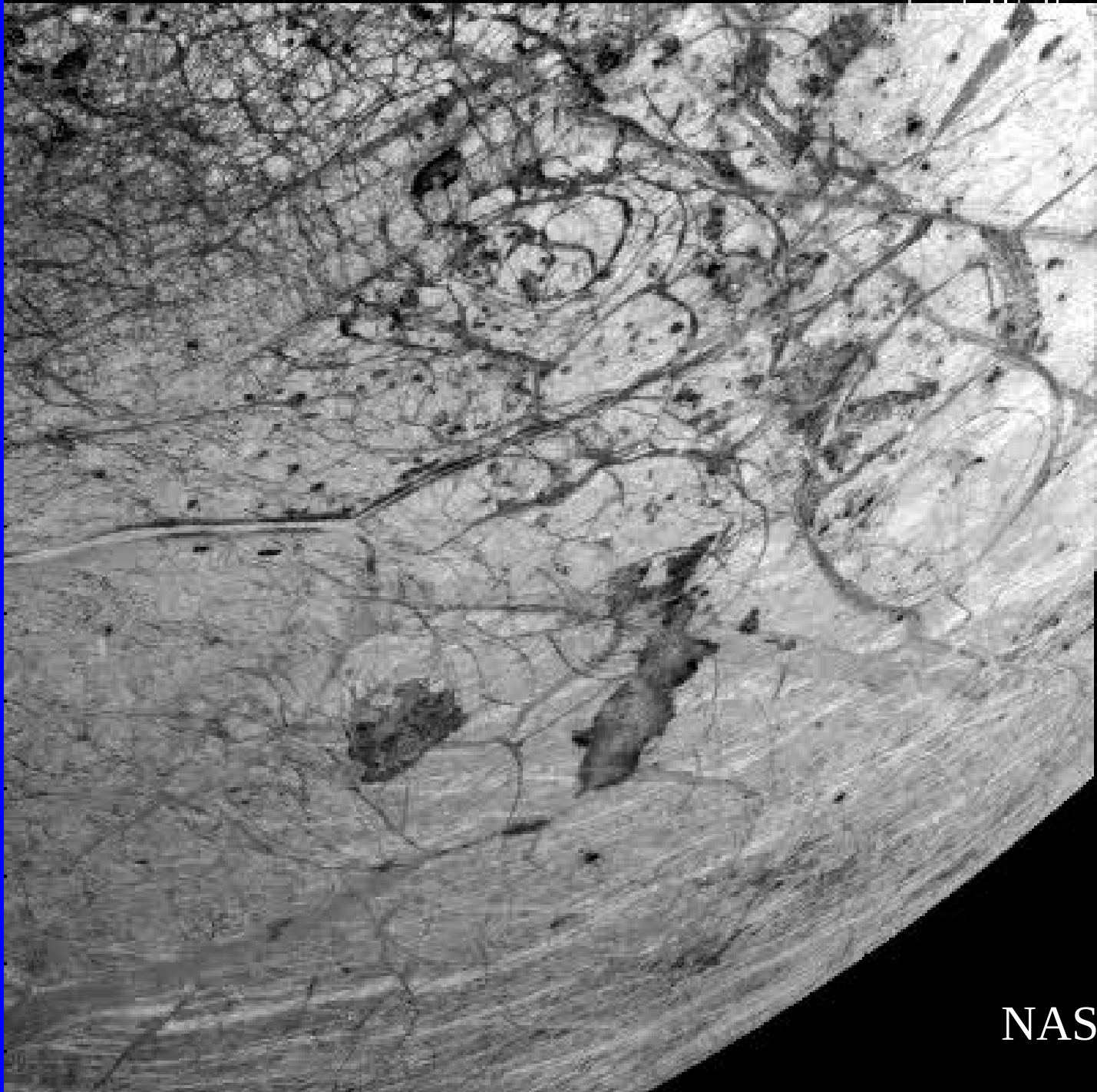




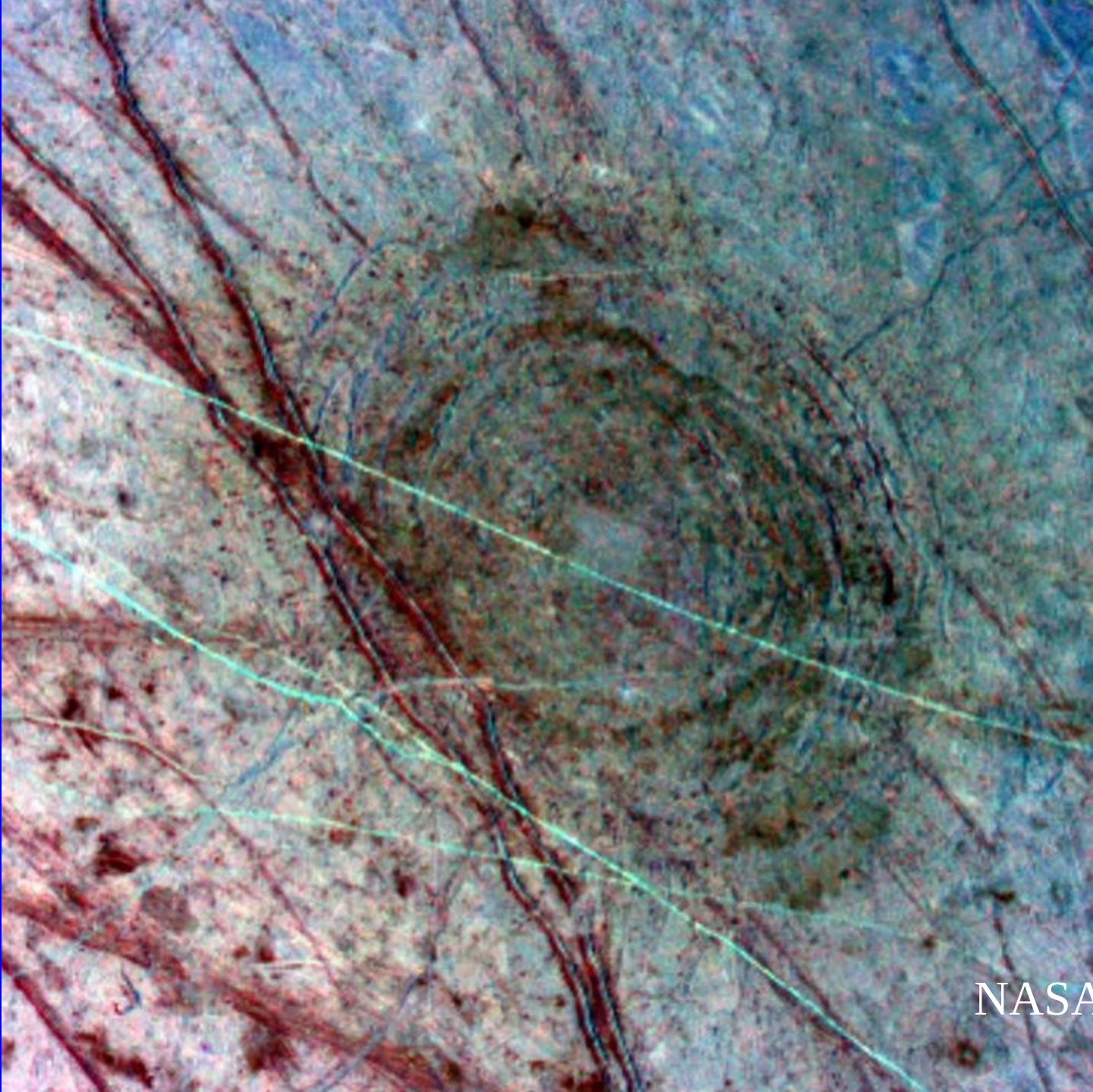
Europa:  
NASA



NASA



NASA



NASA



NASA

## 8.4 Jupiterin kuu Europa

- Toinen Jupiterin neljästä suuresta kuusta (Io, Europa, Ganymedes, Kallisto)
- Selvästi jään peittämän pinnan kuviointi
  - Jäälauttoja
  - Kiinnijäätäneitä railoja
  - Kraatterit nuoria
  - Roiskeita/aaltokuviot
- Kiertoaika mahdollisesti epäsynkroonissa ( $> 200\,000v$ )  $\rightarrow$  keskiosa ja pinta toisistaan erillään

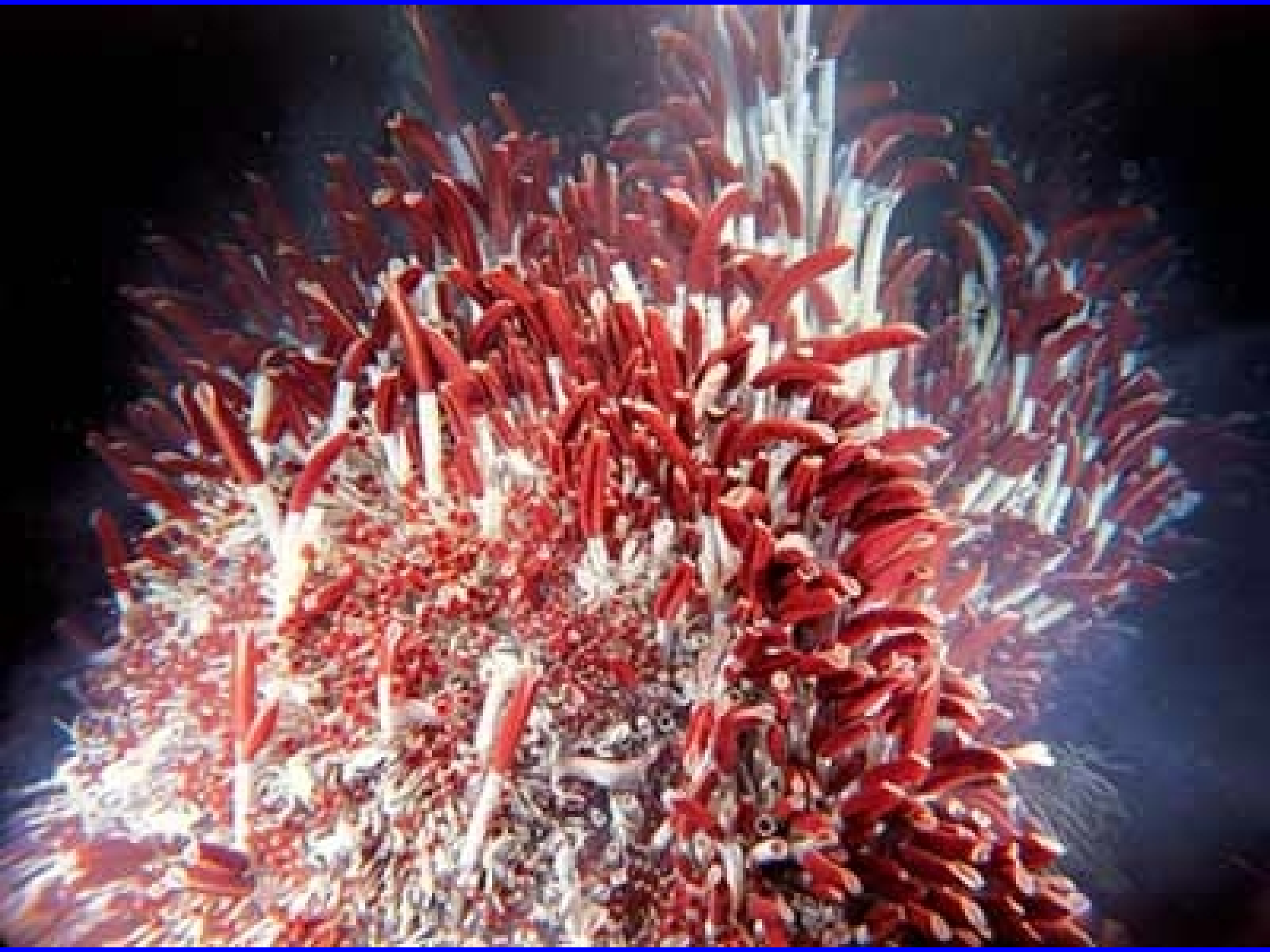
# Europa II

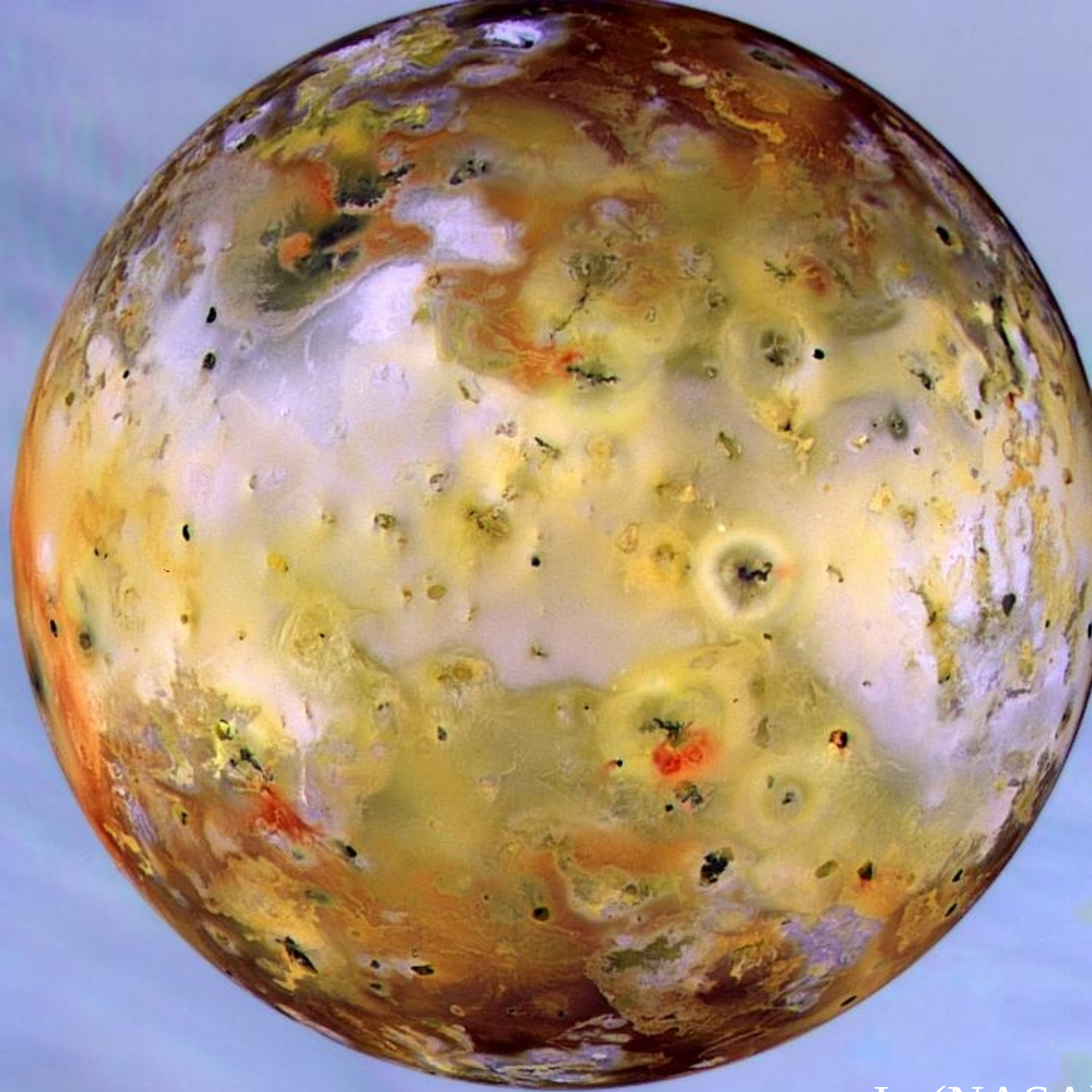
- Sähköä johtavaa ainetta pinnan alla  
⇒ suolainen valtameri
- Jään paksuus joko ~2-10km (tai ~100km)
- Jään pinnan päällä ei ilmakehää!
- Samankaltainenko kuin Vostok-järvi?

# Mahdolliset Europalaiset

- Europalla voisi olla kahdentyypisiä autotrofeja
  - Jään raoissa/Jään alareunalla olevia fotosynteettisiä eliöitä
  - Meren pohjassa mustien savuttajien kaltaisissa eliöyhteisöissä olevia kemotrofeja
  - Valoa melko vähän. Saman verran säteilyä voi tulla infrapunassa mustista savuttajista.
- Pilkkiminen voisi olla vaikeaa



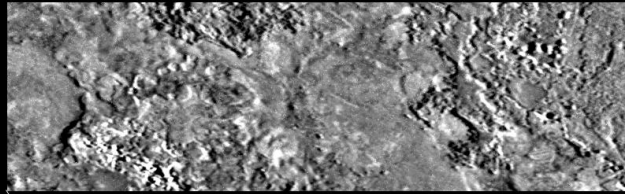




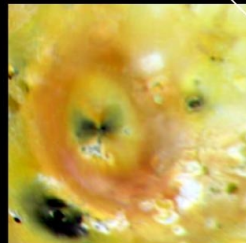
Io (NASA)

Highest Resolution Image Ever Obtained From Io  
(9 m/pixel)

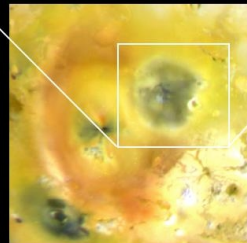
NASA's *Galileo* Spacecraft, Orbit I24  
October 11, 1999



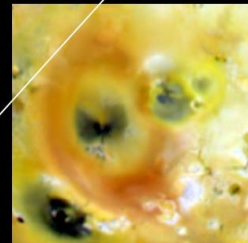
1 km



G7: April 1997



C10: September 1997

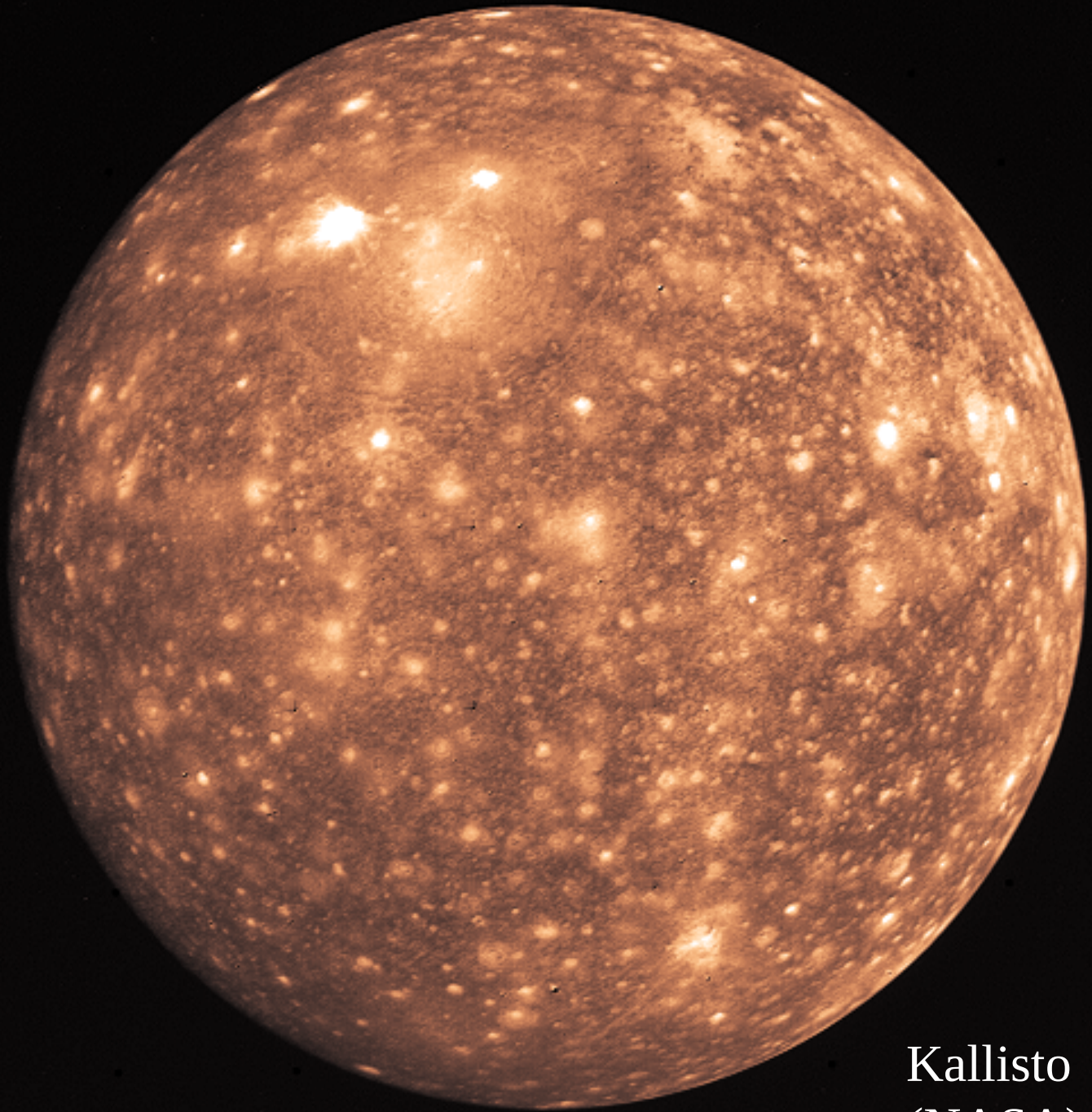


C21: July 1999

Io (NASA)



Ganymedes  
(NASA)



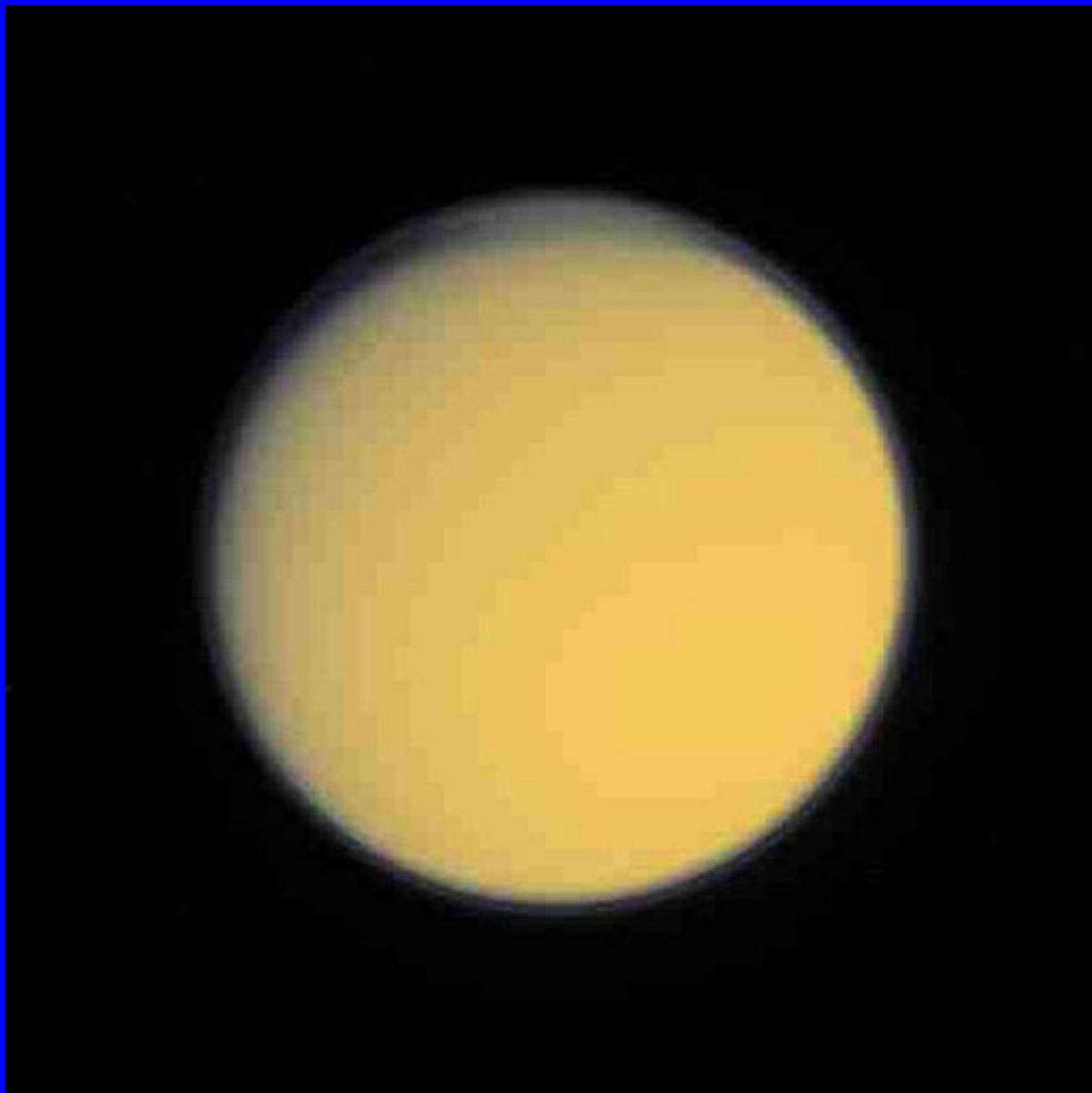
Kallisto  
(NASA)

## 8.5 Muut Jupiterin kuut

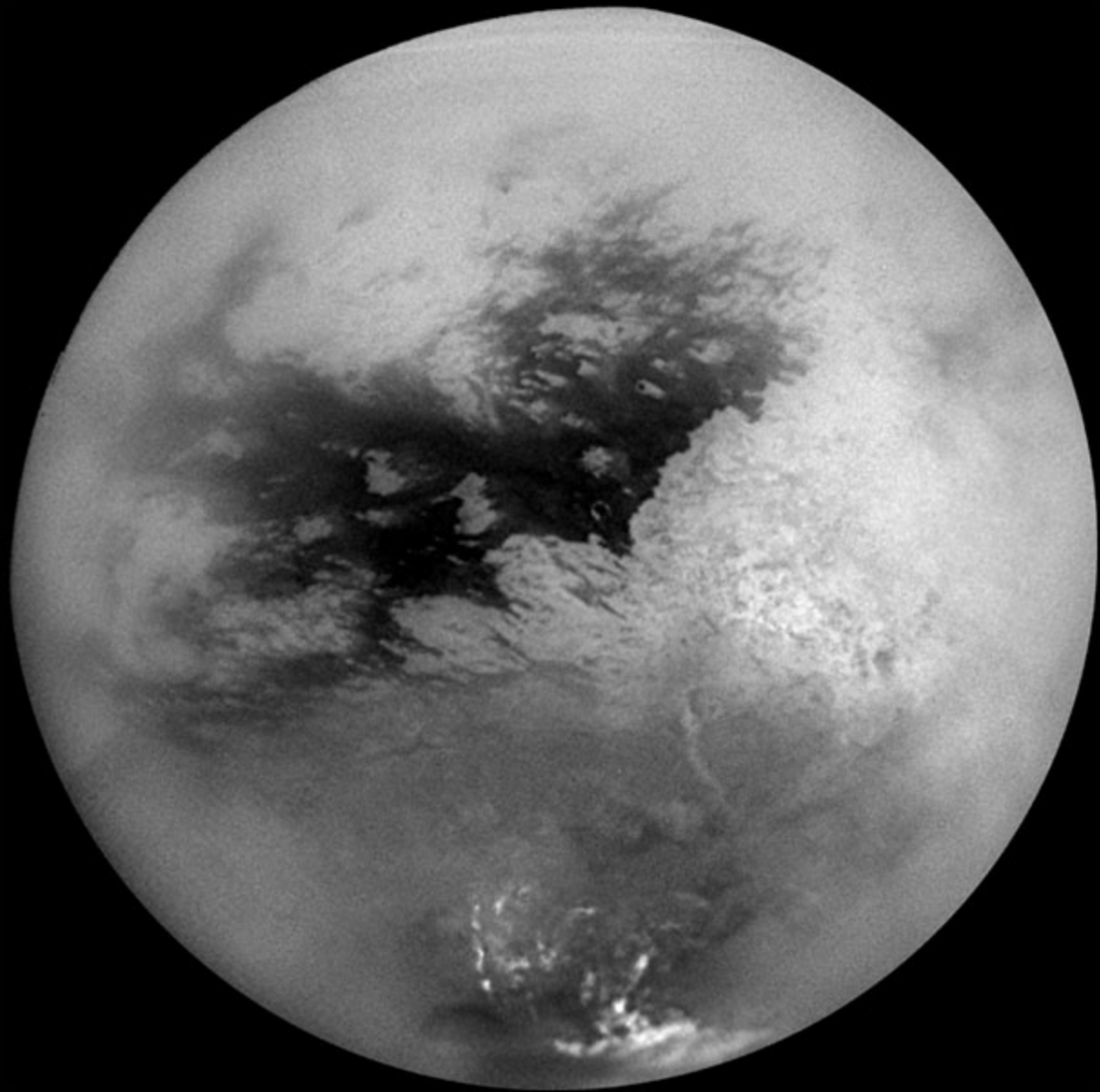
- Io – rikkipitoinen aktiivinen pinta, jota ajaa Jupiterin aiheuttamat vuorovesivoimat – rikkiolioitako? Muistuttaa nuorta Maata.
- Ganymedes ja Kallisto lienevät myös jään peittämiä, mutta näissä kuissa jää lienee paksumpi ja niiden alla on ilmeisemmin paksu sohjokerros ja pohjalla umpjäätä. Elämän mahdollisuus hyvin vähäinen, paljon pienempi kuin Europalla.

# 8.6 Saturnuksen kuu Titan

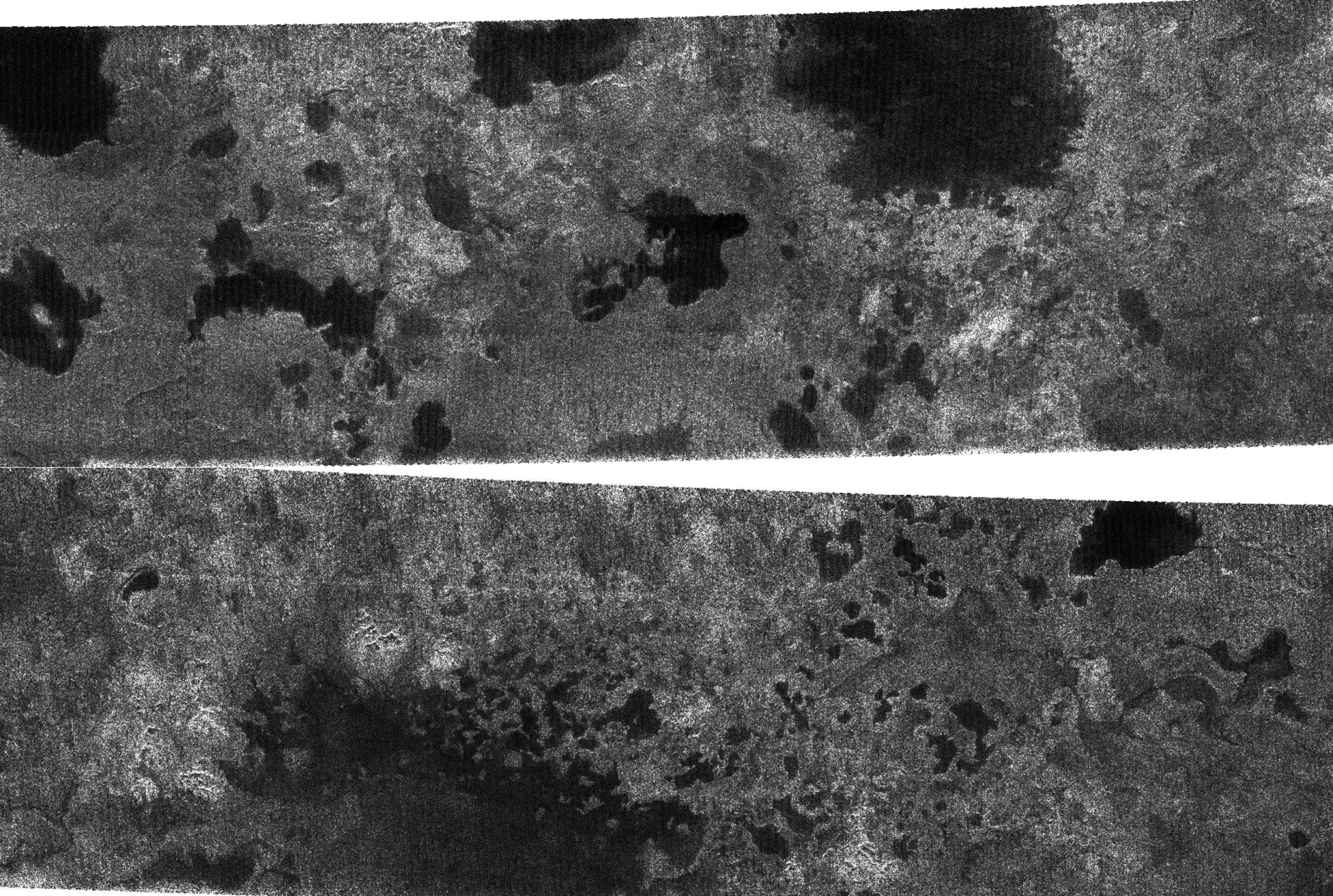
- Saturnuksen ja Aurinkokunnan suurin kuu
- Pinnan ilmakehä: typpi ( $N_2$  – 95%) ja metaani ( $CH_4$  – 5%)
- 1.45 bar, 90 K (= –180C)
- Titanin pinnalla on tutkan ja nyt Huygensin ja Cassinin avulla havaittu olevan sileitä pintoja ja ”jokijärjestelmiä” → järviä jotka muodostuneet nestemäisistä etaanista, metaanista ja typestä.
- Lienee paljon orgaanisia molekyylejä
- Prebioottinen kemia todennäköistä
- Pinnan ”kivet” vesijäätä (Huyens)
- Jos on elämää, niin se lienee varsin eksoottista
- Huygens pinnalle 2005 ja Cassini radalla 2004 alkaen
- <http://saturn.jpl.nasa.gov/home/index.cfm>







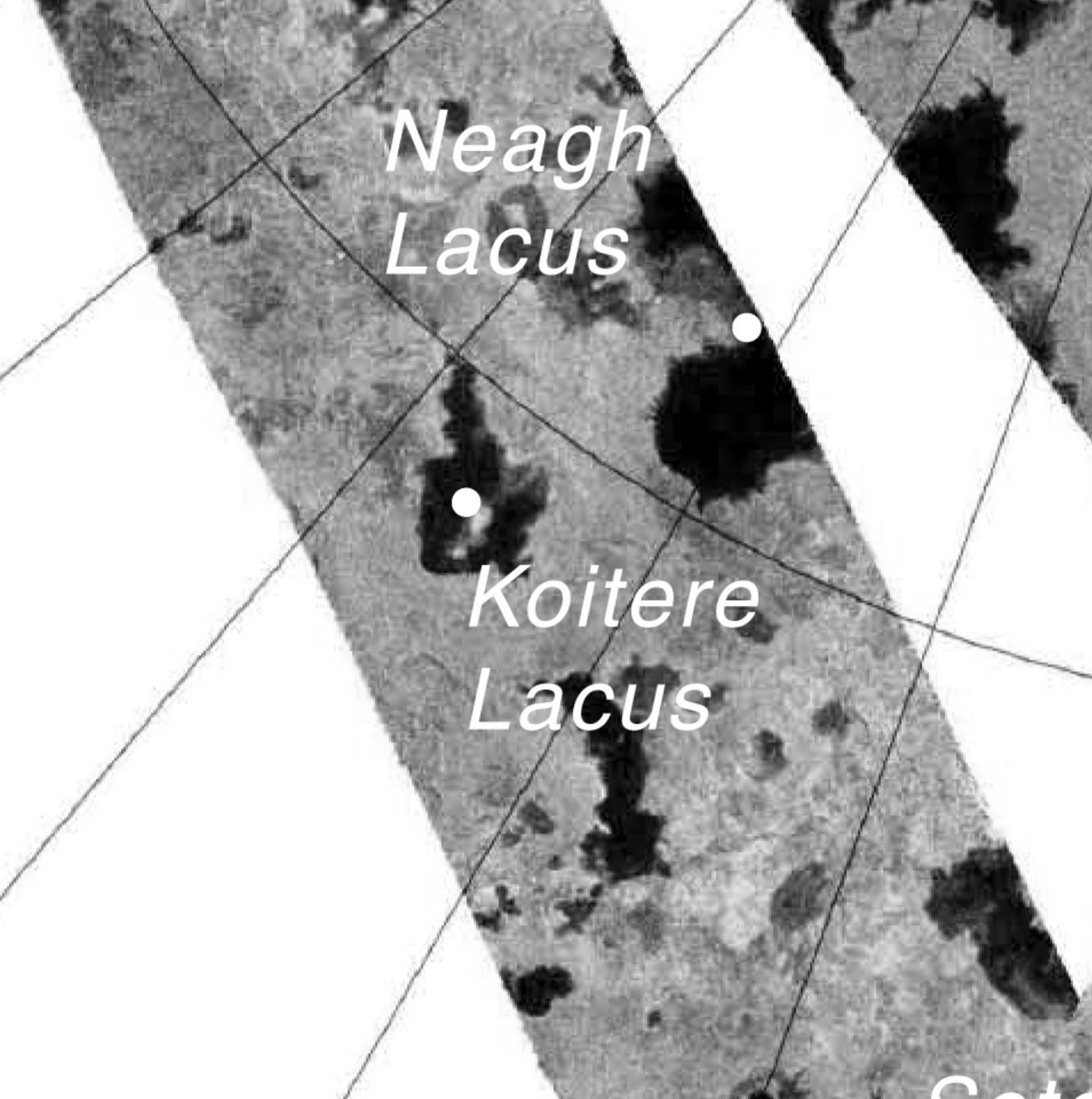
<http://saturn.jpl.nasa.gov/home/index.cfm>





Titanin  
pohjois-  
napa

Cassini  
missio



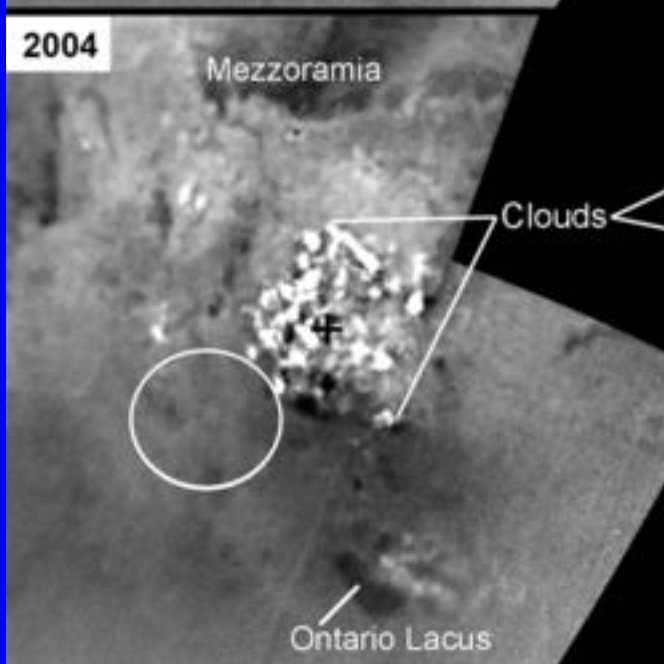
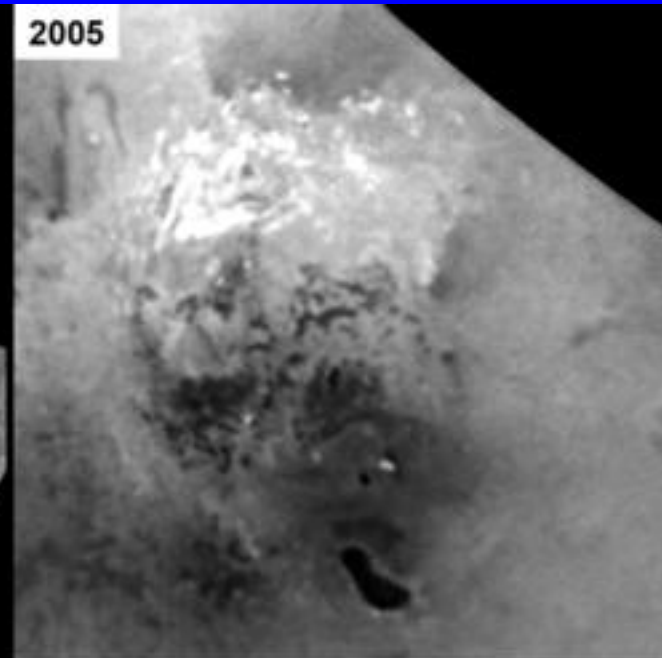
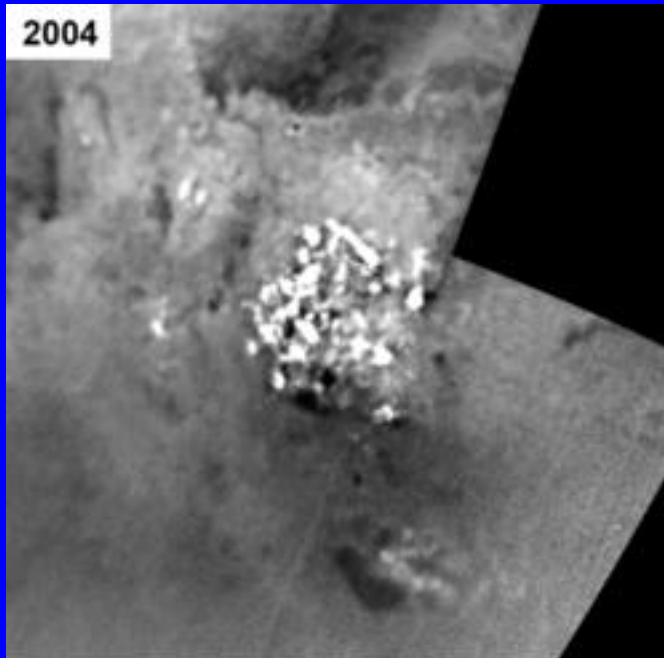
*Neagh  
Lacus*

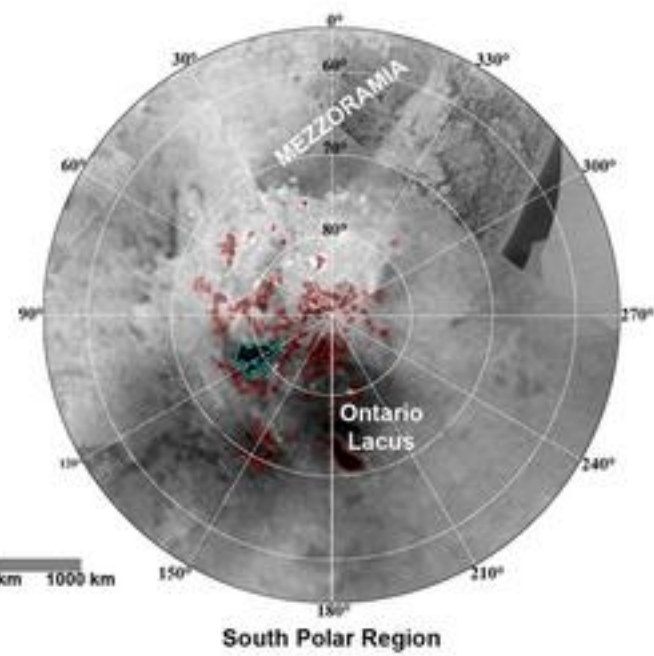
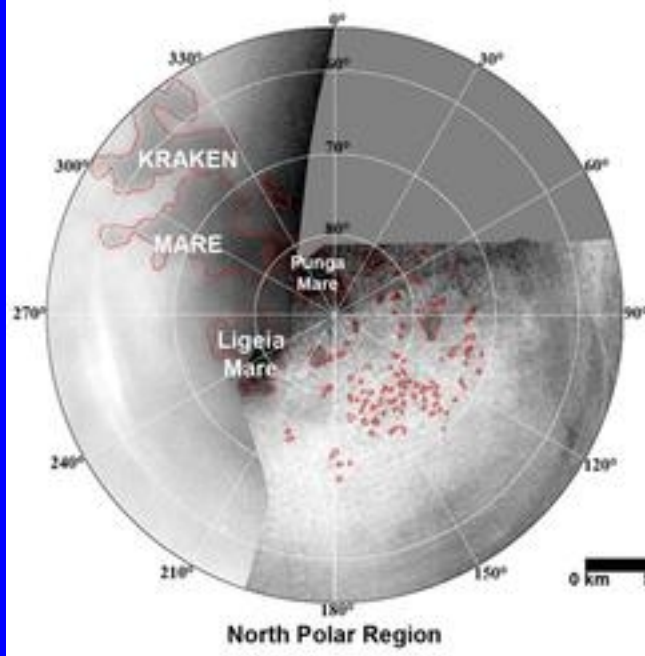
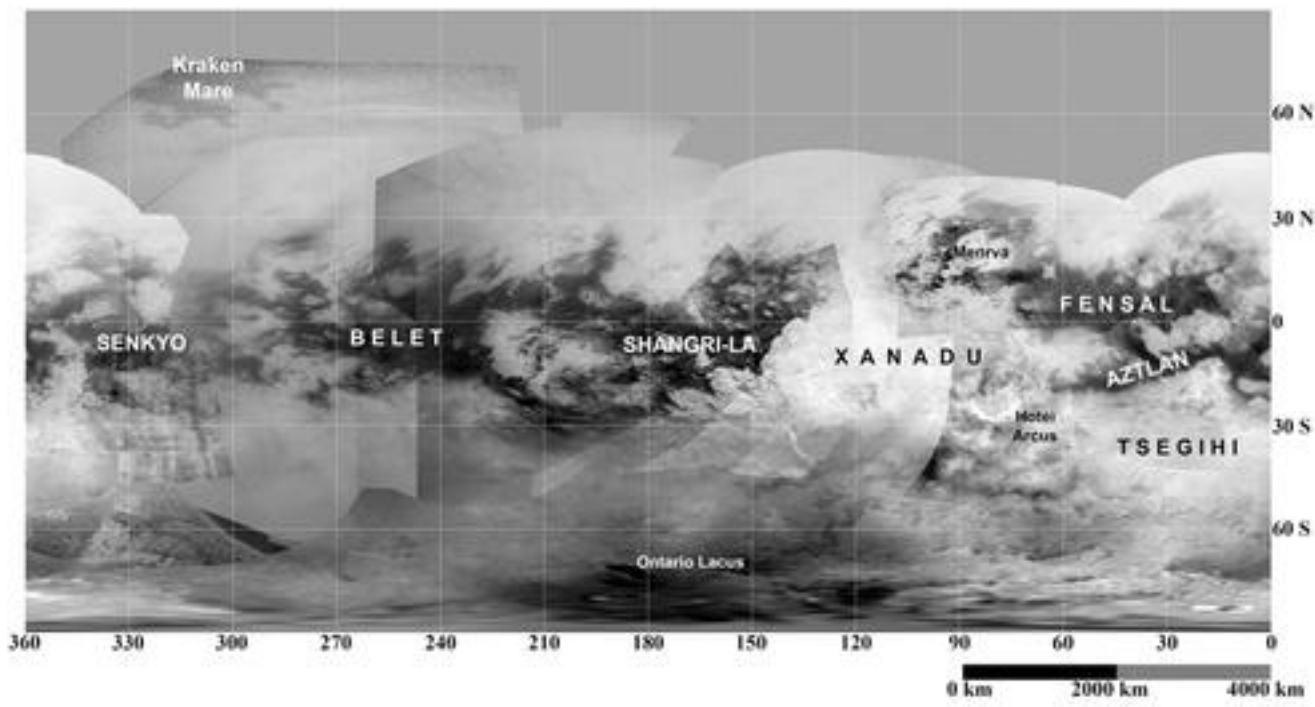
*Koitere  
Lacus*

Koitere  
Lacus

Cassini  
missio

Cat







Pitch Lake, Trinidad





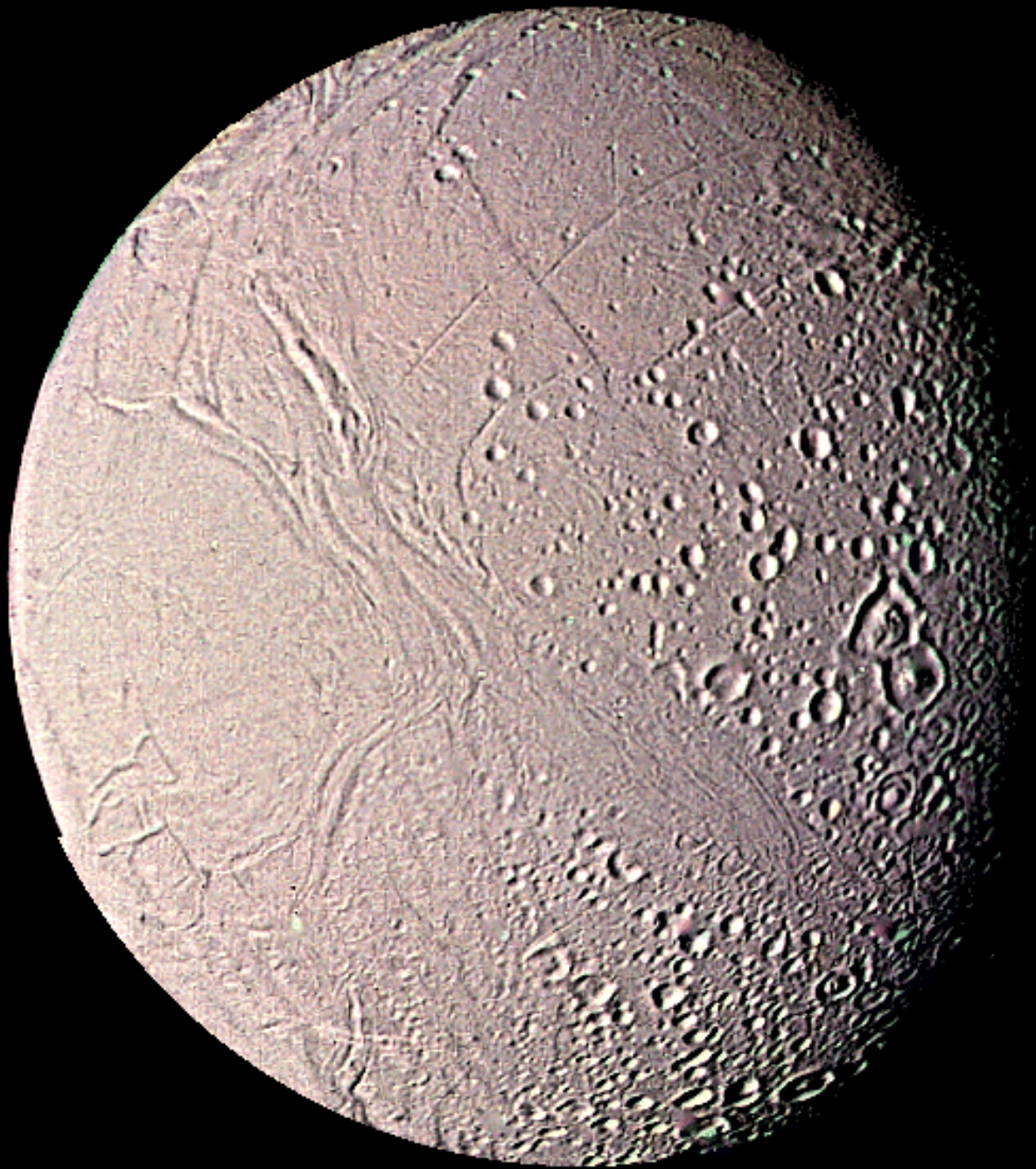
# Titan (II)

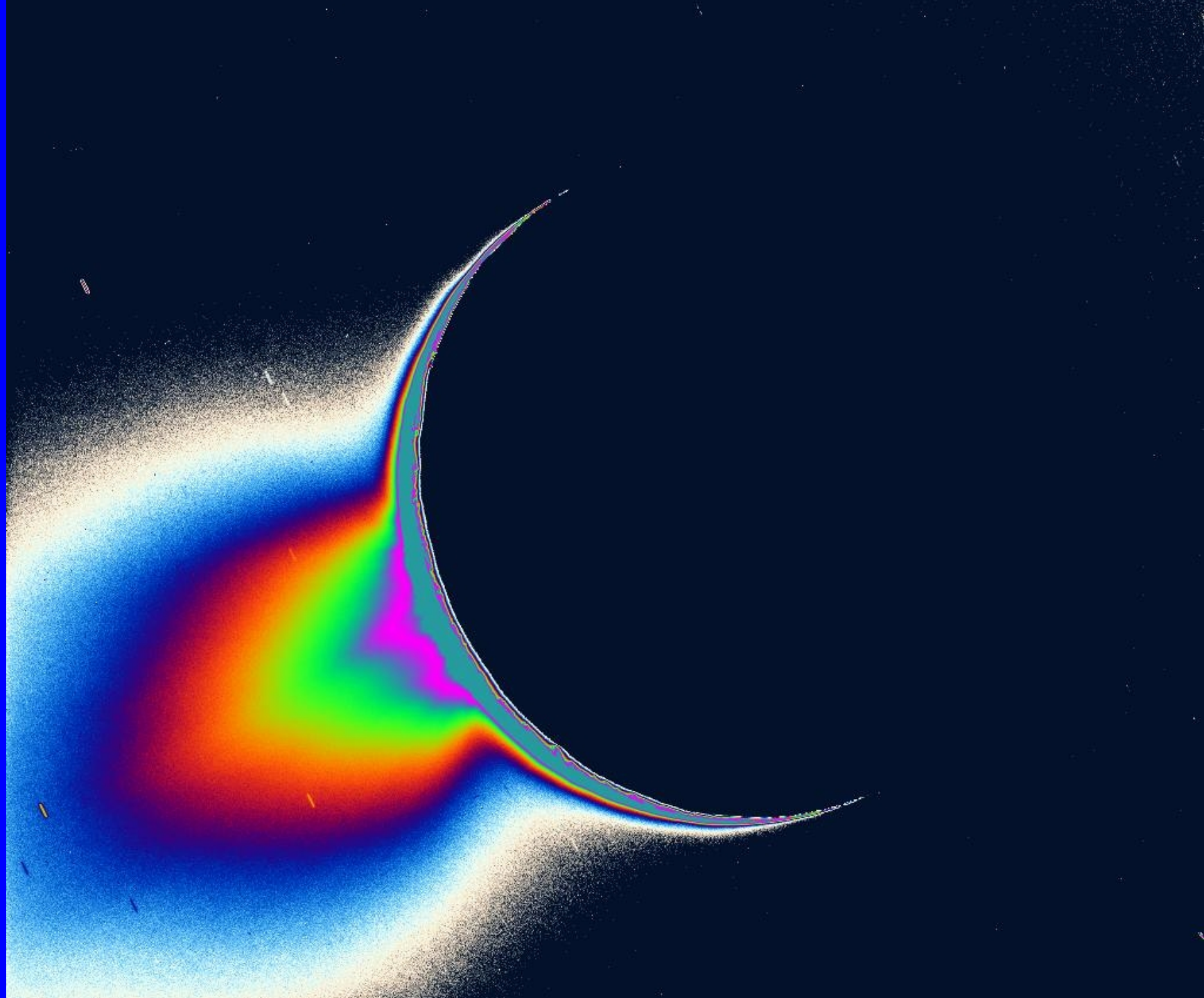
- Hiilivetyjärviä ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{N}_2$ )
- Hiilivetyseiteita
- Toliineja syntyy yläilmakehässä
- Kryovulkamismia ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ )
- Käänteinen kasvihuone
- Mahdollisesti pinnanalainen ammoniakki-vesipitoinen meri
- Pinnalla tapahtuva kemia saattaa muistuttaa sitä maassa ollutta kemialla, josta elämä syntyi

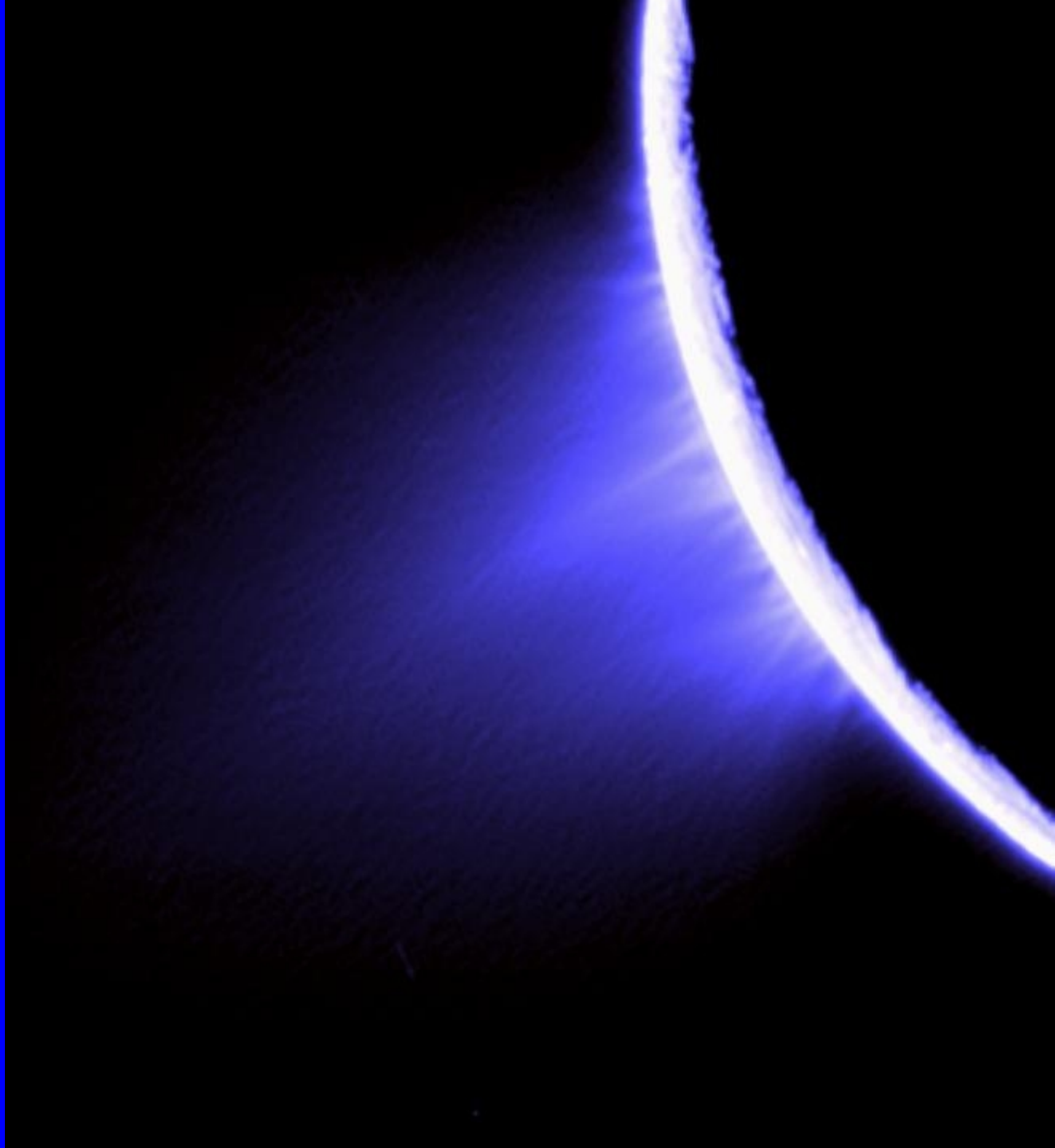
## 8.7 Saturnuksen kuu Enceladus

- Saturnuksen kuu, noin 500 km läpimitaltaan
- Halkeamia havaittu muodostuvan
- Halkeamien lämpötila noin 90-100K, kun ympärillä 75K
- Vesigeysereitä
- Europan pikkuveli?

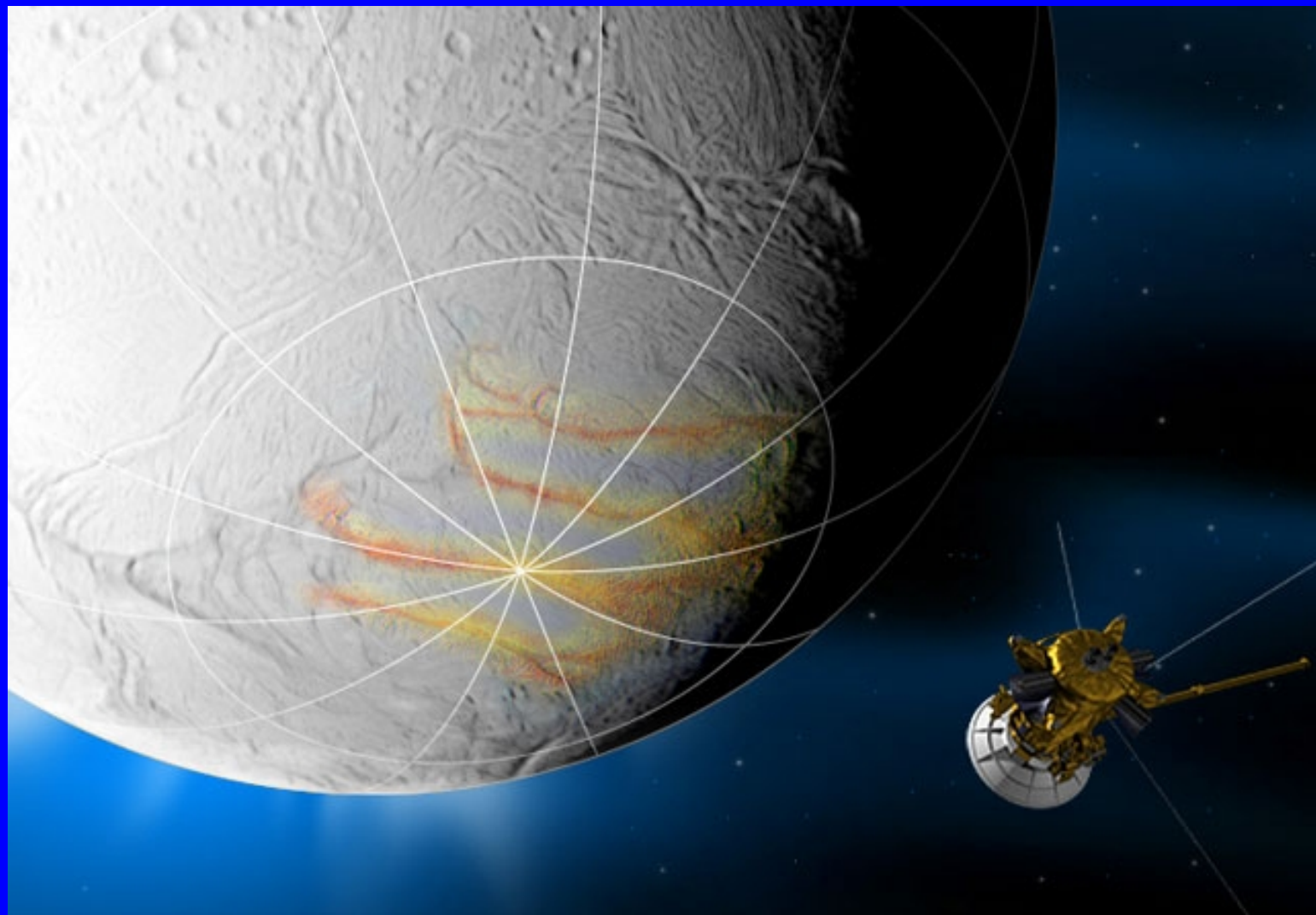
E  
N  
C  
E  
L  
A  
D  
U  
S

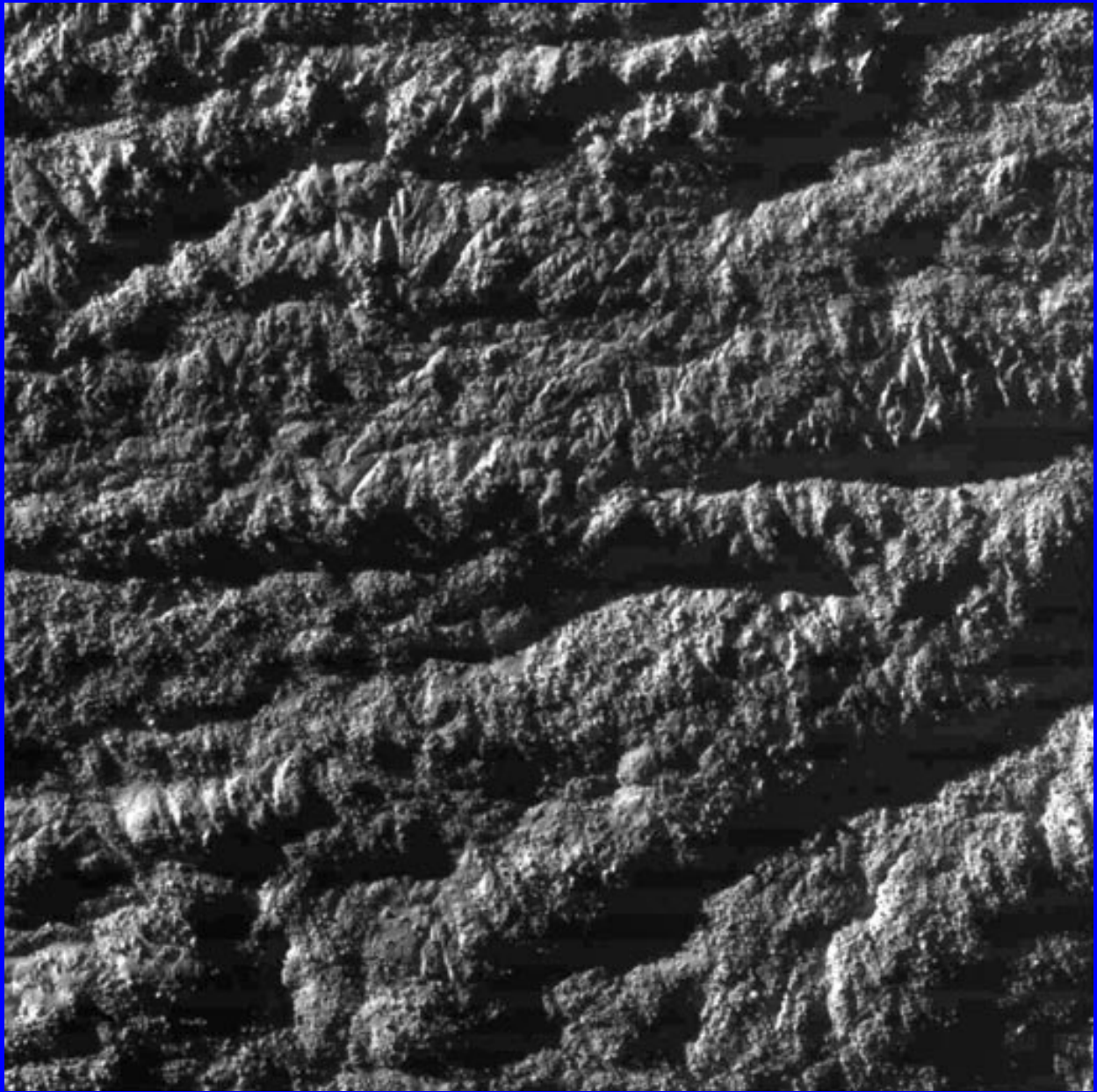




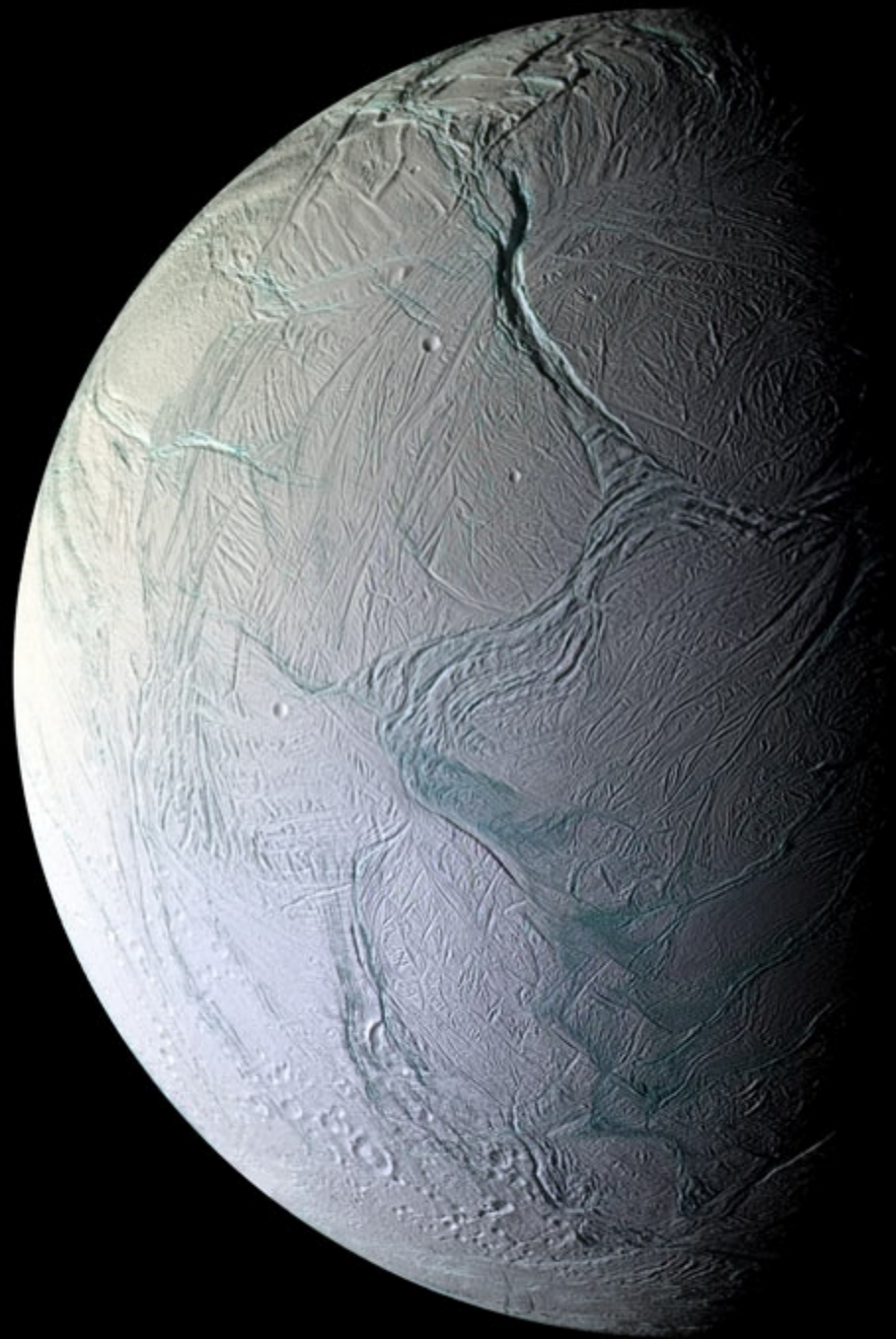


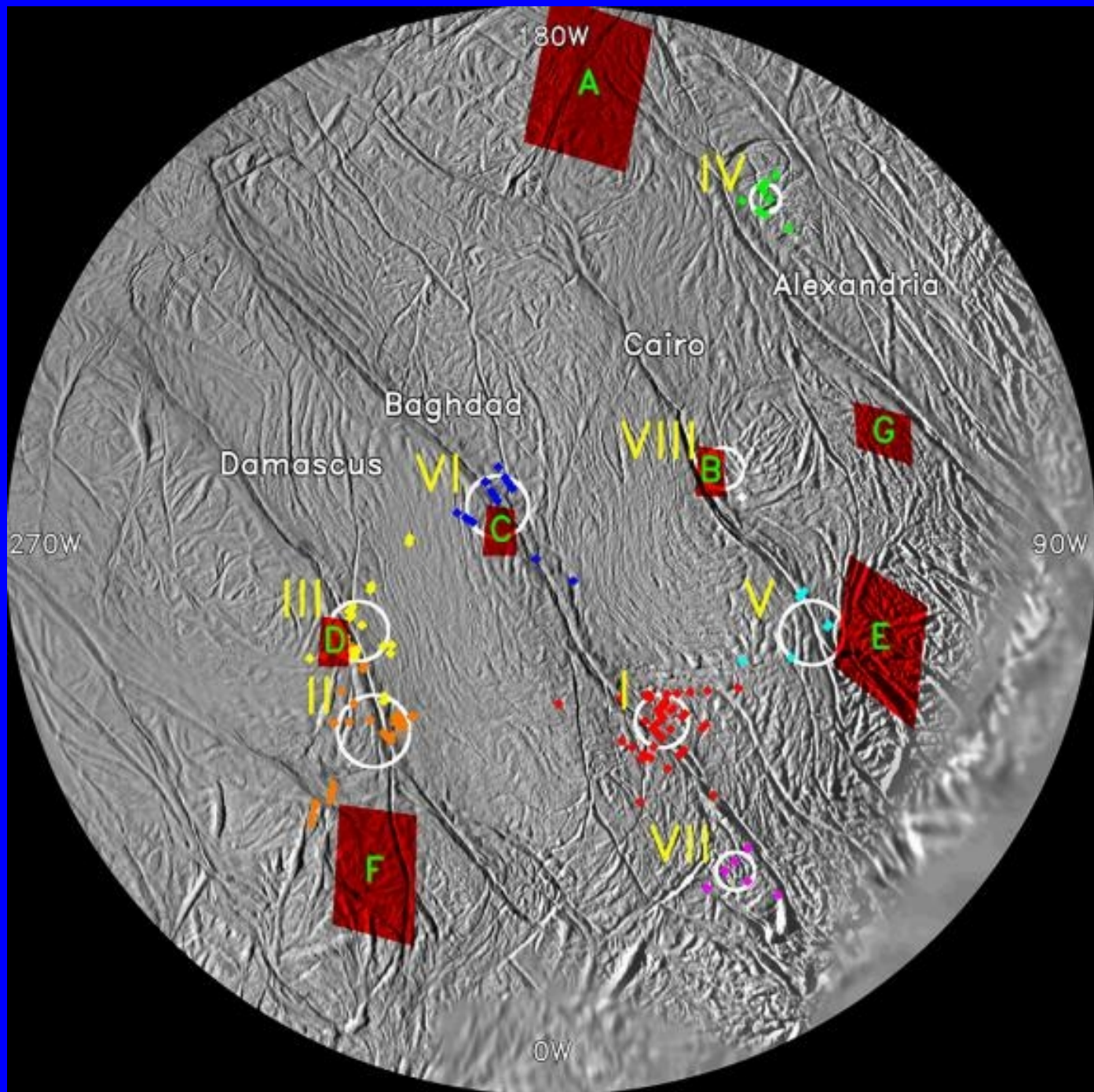


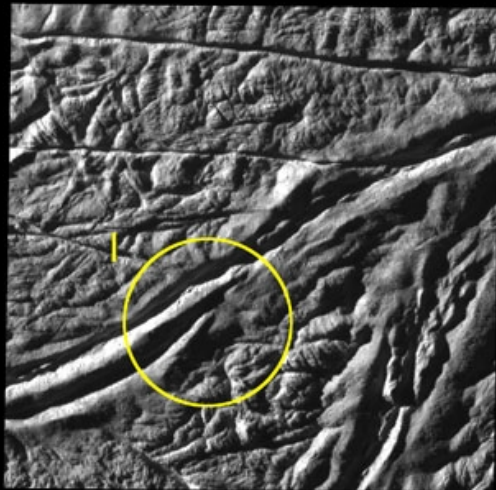




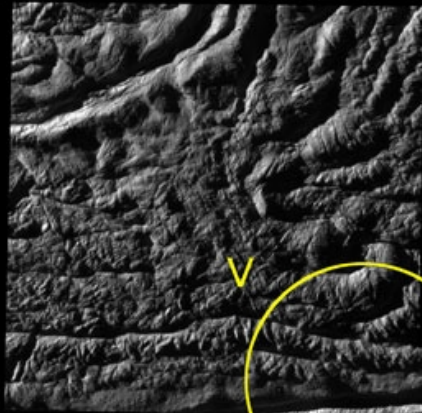






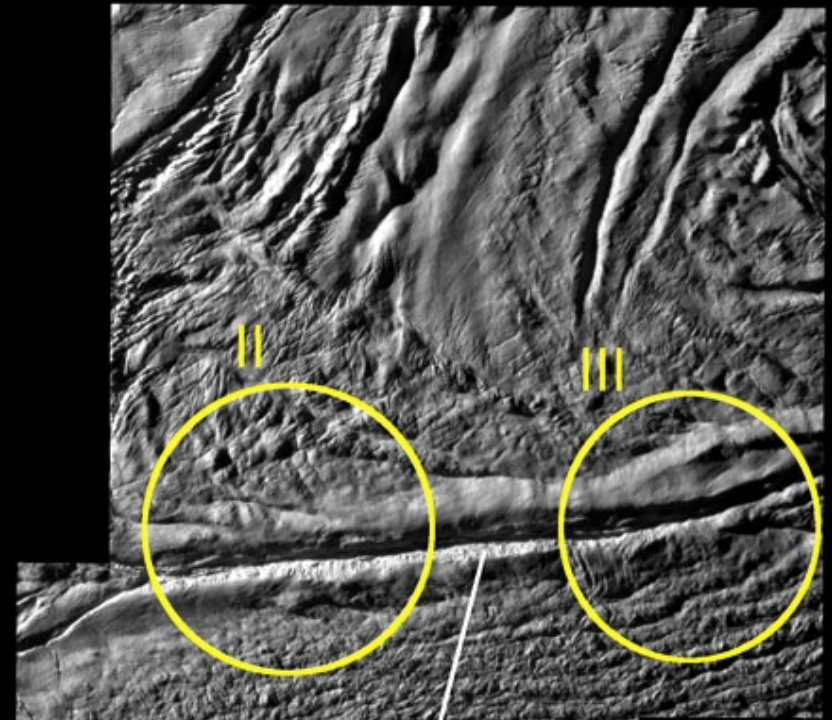


**BAGHDAD  
SULCUS**



**CAIRO  
SULCUS**

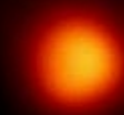
5 km



**DAMASCUS  
SULCUS**

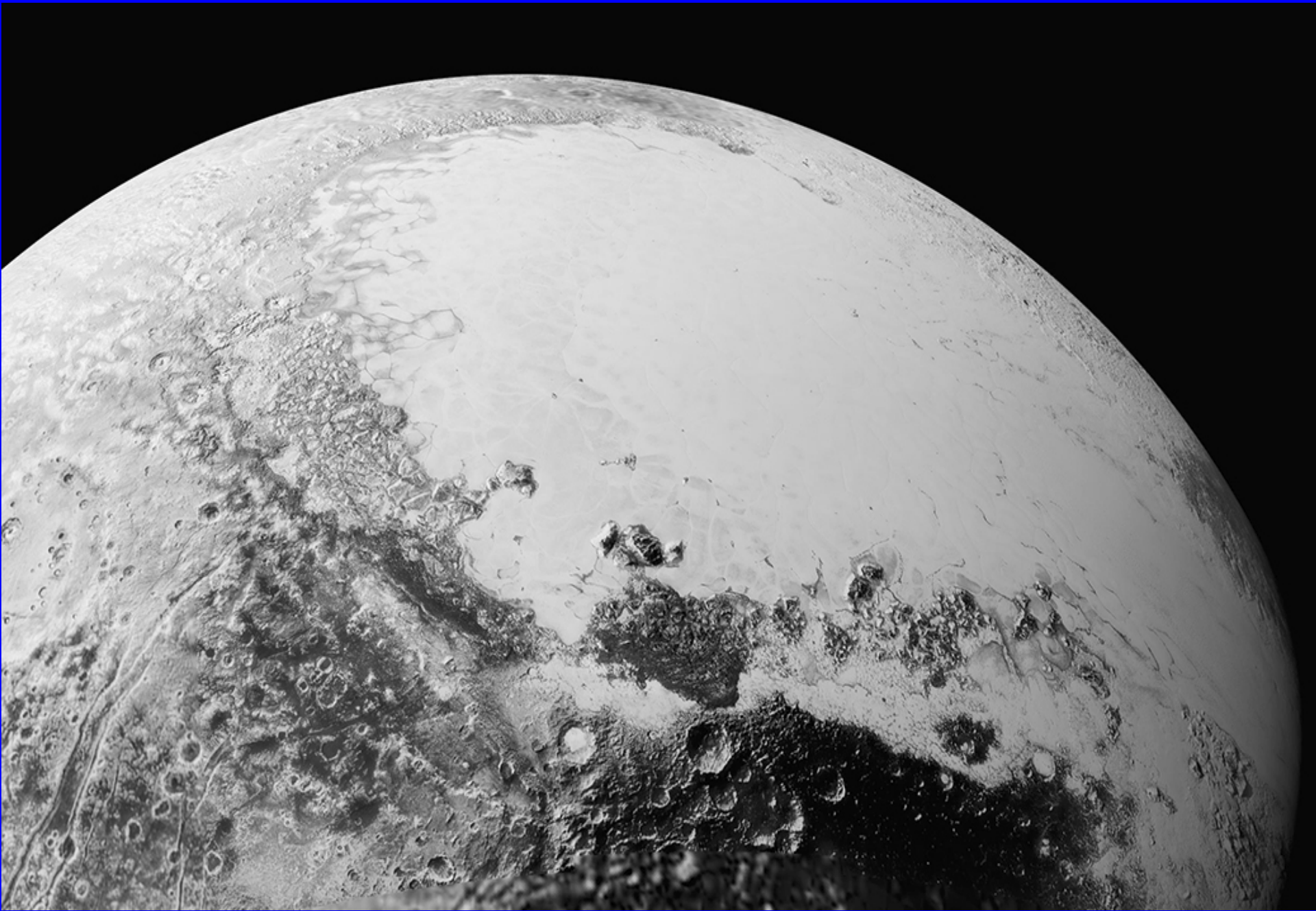
10 km

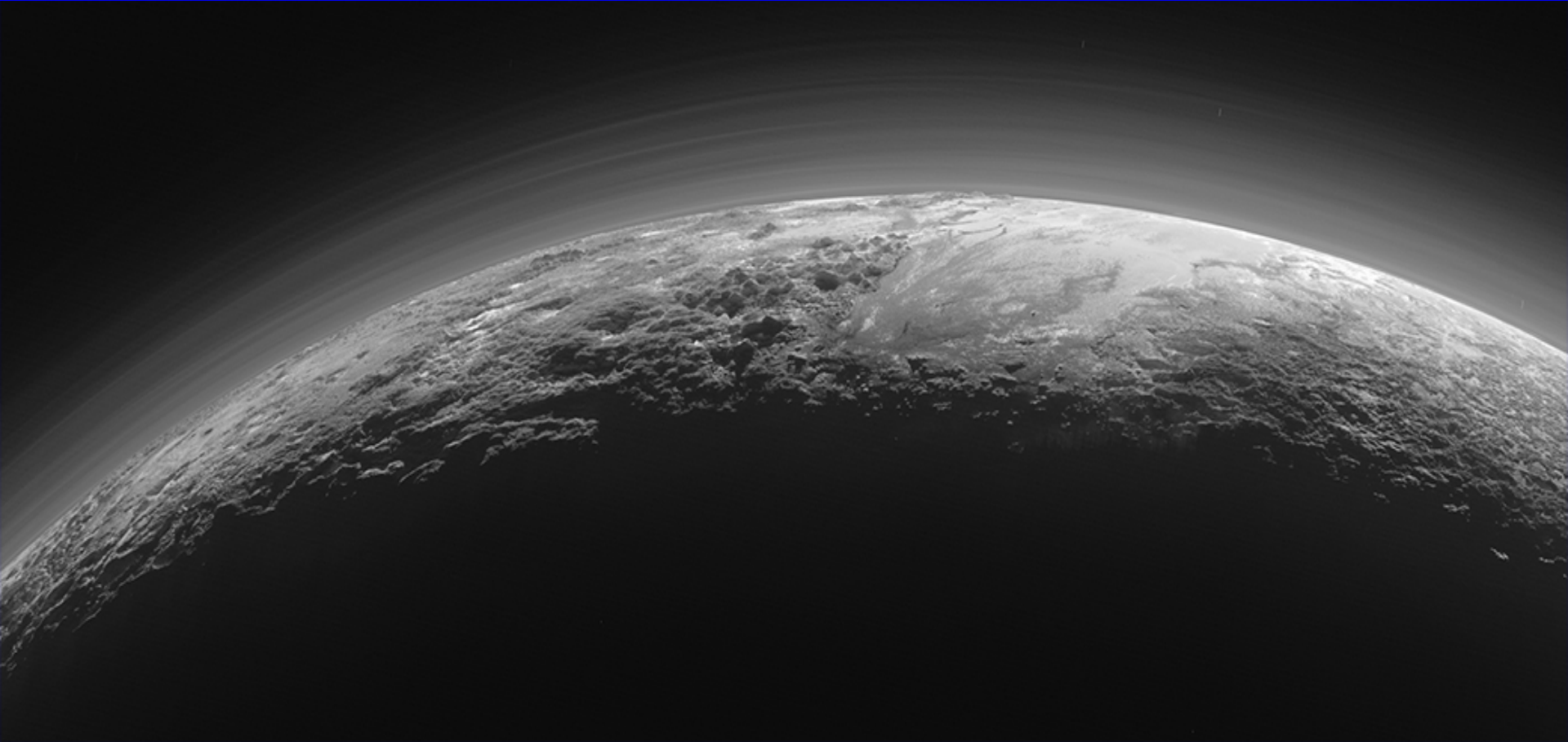




Pluto ja Charon







# 8.8 Neptunuksen kuu Triton, Pluto, isot Kuiperin ja Oortin vyöhykkeiden komeetat

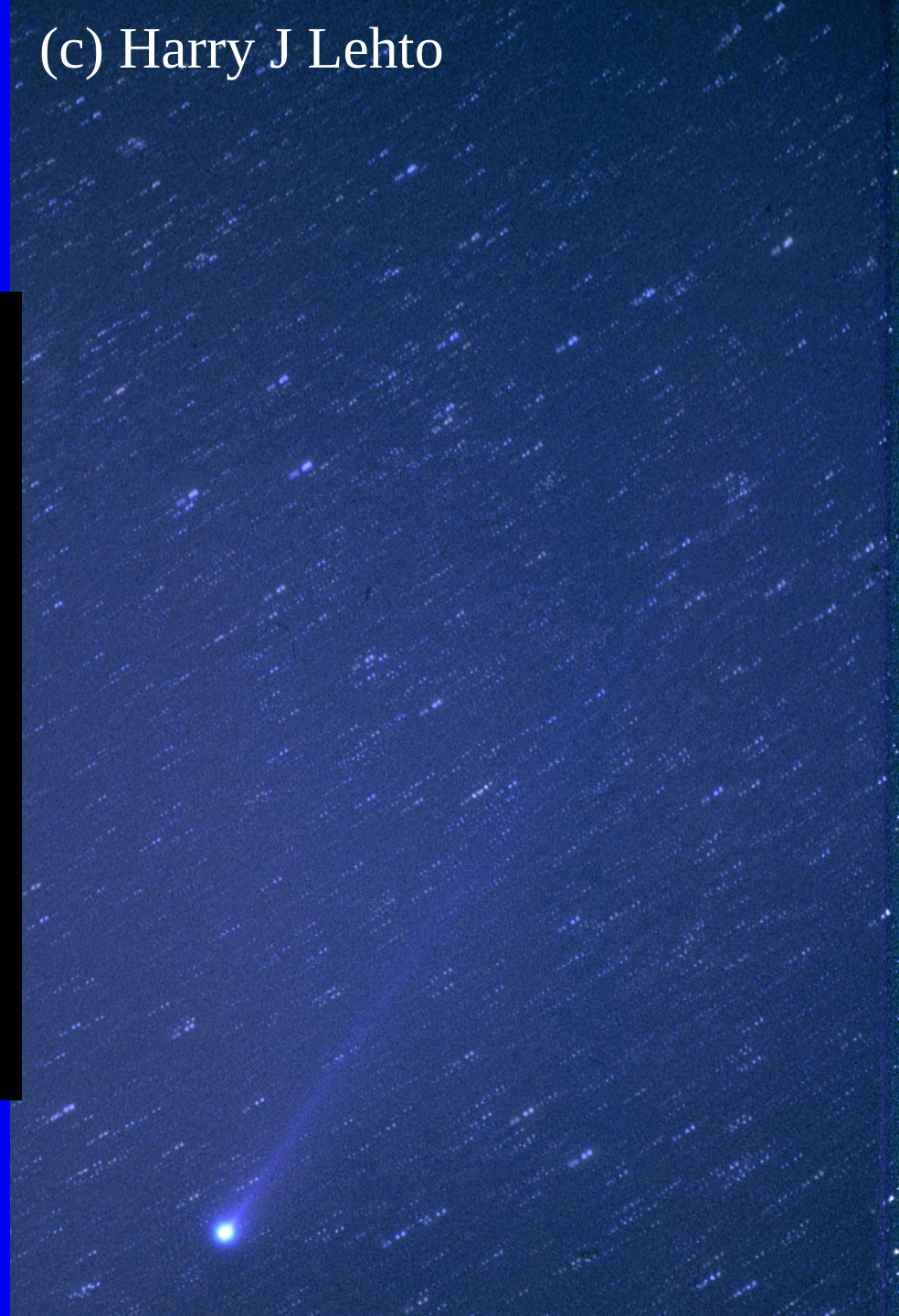
- Neptunuksen kuu Triton ja kääpiöplaneetat Pluto ja Charon ovat kylmiä paikkoja ( $T \approx 40\text{K}$ )
- Molemmilla on alhainen ilmakehän paine ( $< 10$  mbar Tritonilla, ja  $1\mu\text{bar}$  Plutolla). Charonilla ei ilmakehää?
- Pluton pinta lienee muodostunut metaanijäästä (ehkä jopa 50% planeetan säteestä).
- Triton on ilmeisesti metaani ja typpijään peittämä kuu. Sillä on vulkaanista toimintaa jossa ”tulivuorista” purkautuu nestemäistä typpeä, joka sataa alas typpilumena.
- Olosuhteet jonkin verran Titaniakin ankarammat, mutta prebioottinen kemia voisi olla mahdollista.



Haumea

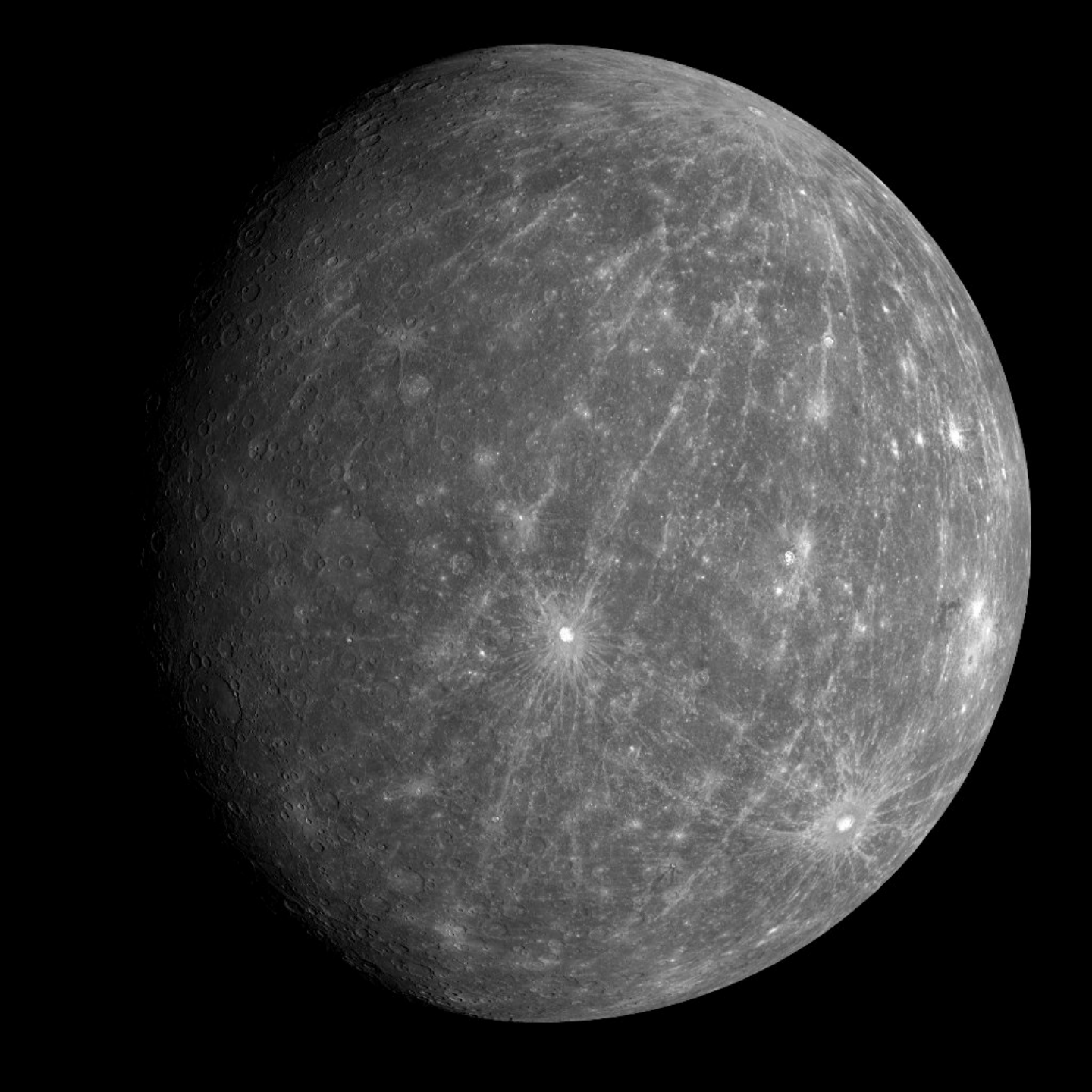
Ikeya-Zhang

(c) Harry J Lehto



## 8.9 Komeetat

- Suurimman osan aikaa komeetta on kaukana Auringosta ja olosuhteet kylmät (verrattavissa Plutoon)
- Käyvät toisinaan Auringon läheisyydessä jolloin osa vedestä voi sulaa.
- Orgaaniset aineet voivat kondensoitua.



Mare Imbrium

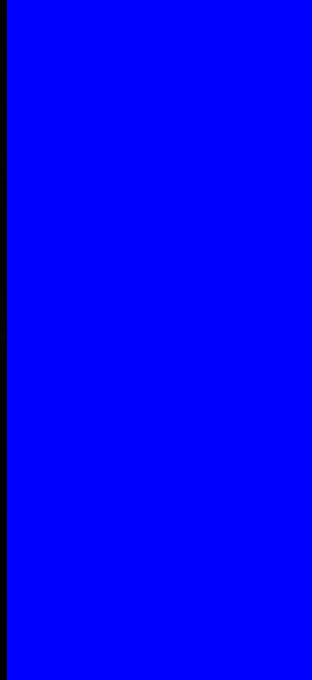
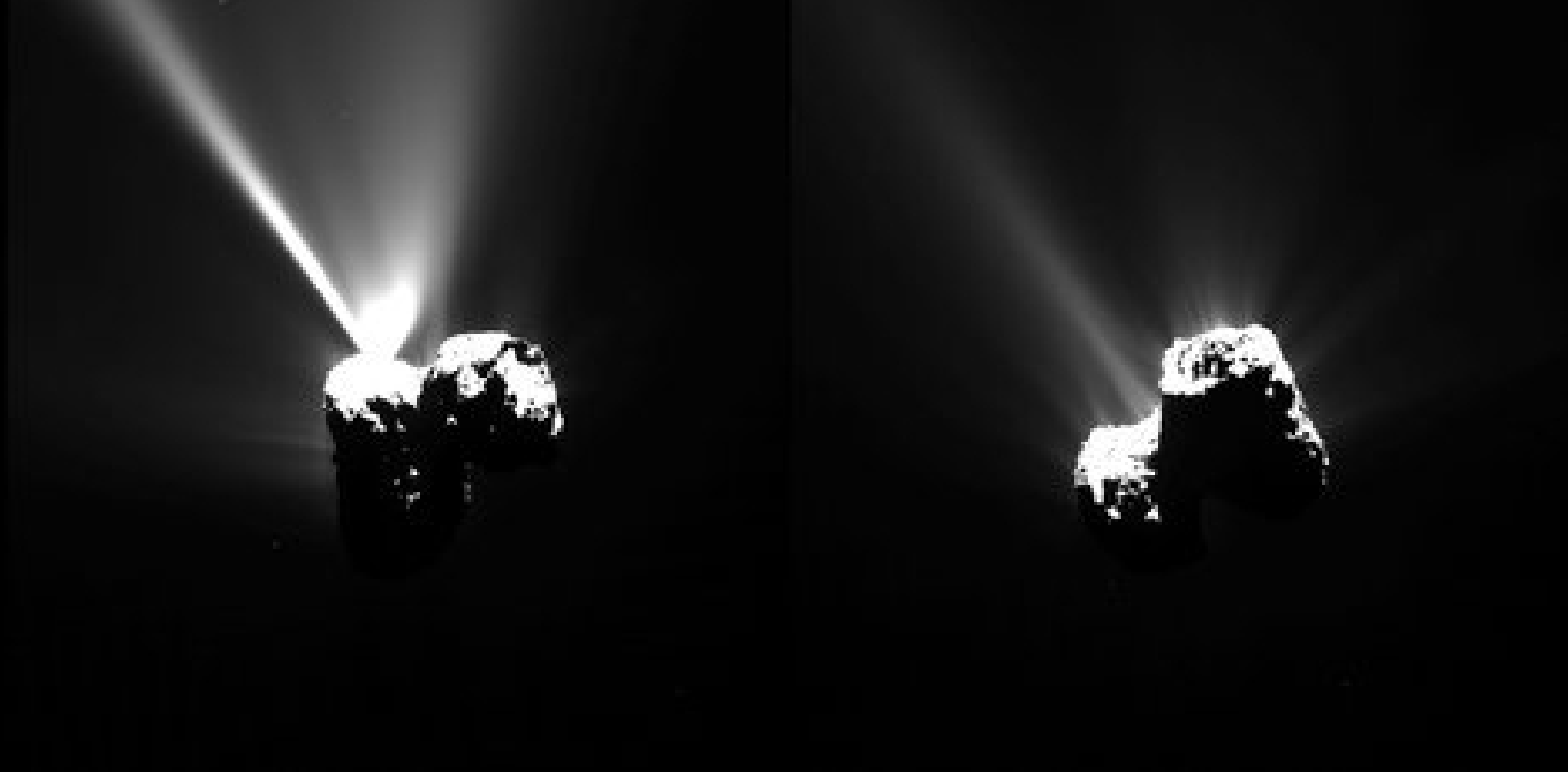
Copernicus

Tycho

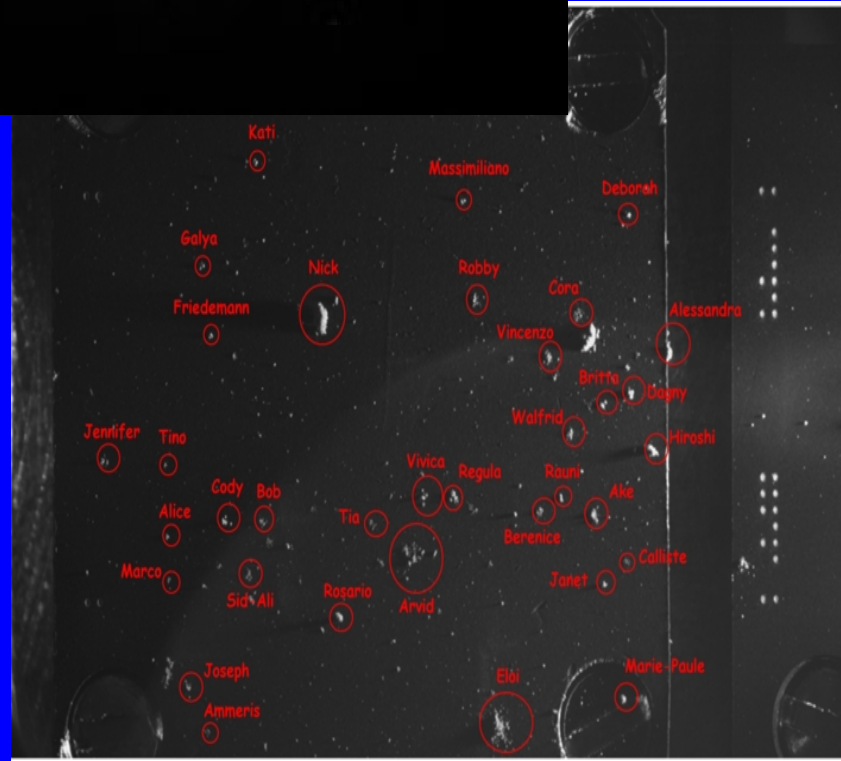


# ROSETTA





# 67P/Churyumov-Gerasimenko



## 8.10 Kuu, Merkurius

- Kuu ja Merkurius ovat pieniä kappaleita
- Ilmakehättömiä
- Vedettömiä
- Suuret lämpötilan vaihtelut
- Kiertoajat resonanssissa (Merkurius) tai synkroonissa (Kuu)
- Mahdollisuus elämän menestymiselle lienee erittäin heikko.

# 8.11 Elämän vyöhyke (HZ) Aurinkokunnassa

- Lämpötila  $0^{\circ}\text{C}$ ... $50^{\circ}\text{C}$  (elämälle sopiva nestemäinen vesi) – mutta saa mennä pakkasen puolelle hetkeksi
- Alussa Venus, Maa, Mars
- Ehkä Europa, Enceladus, Titan, Ganymedes, Callisto
- Jupiter Aurinkokunnan puhdistajana
- Kuu liian pieni elämälle, Merkurius liian kuuma, jättiläisplaneetoilla ei pintaa
- Maan tektoninen toiminta ja iso seuralainen
- HZ siirtyy hitaasti ulospäin. Kestävän elämän vyöhyke (CHZ) on noin 0.95-1.15AU