

Hledání života ve sluneční soustavě...

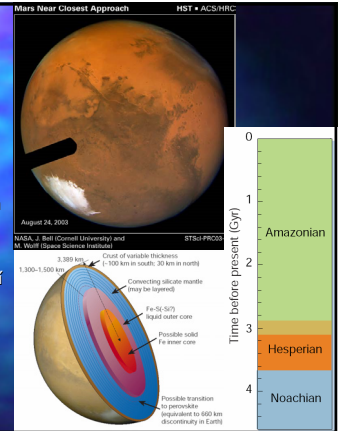
... aneb život za humny?

Vladimír Kopecký Jr.

Fyzikální ústav Univerzity Karlovy v Praze
Oddělení fyziky biomolekul
<http://atrey.karlin.mff.cuni.cz/~ofb/kopecky.html>
kopecky@karlov.mff.cuni.cz

Fyzikální ústav Univerzity Karlovy v Praze
Oddělení fyziky biomolekul
<http://atrey.karlin.mff.cuni.cz/~ofb/kopecky.html>
kopecky@karlov.mff.cuni.cz

- Největší měsíc Saturnu a 2. největší měsíc vůbec
- Průměr 6 757 km
- rotační perioda 24 h 39 min
- Vzdálenost 227,9 mil. km
- Tlak na povrchu 600 Pa
- Magnetické pole 500× slabší
- Povrchová teplota -90 °C až -20 °C
- Průměrná hustota
 - CO₂ 95 %, N₂ 3 %, Ar 2 %, H₂O stopová množství



The diagram illustrates the chemical and physical processes in the Martian atmosphere. On the left, a cycle shows the conversion of water and carbon dioxide into various atmospheric species. Water (H_2O) is photolyzed by UV light ($h\nu$) into hydroxyl radicals (OH) and hydrogen (H). Carbon dioxide (CO_2) is also photolyzed by UV light ($h\nu$) into carbon monoxide (CO) and oxygen (O). The hydroxyl radicals (OH) react with carbon monoxide (CO) to form carbon dioxide (CO_2) and water (H_2O). The oxygen atoms (O) react with carbon monoxide (CO) to form carbon dioxide (CO_2) and with hydrogen (H) to form water (H_2O). The water (H_2O) is then photolyzed by UV light ($h\nu$) into hydroxyl radicals (OH) and hydrogen (H), completing the cycle. The carbon monoxide (CO) is also photolyzed by UV light ($h\nu$) into carbon (C) and oxygen (O). The carbon (C) reacts with oxygen (O) to form carbon dioxide (CO_2). The oxygen atoms (O) also react with carbon monoxide (CO) to form carbon dioxide (CO_2). The hydroxyl radicals (OH) react with carbon monoxide (CO) to form carbon dioxide (CO_2) and water (H_2O). The oxygen atoms (O) react with carbon monoxide (CO) to form carbon dioxide (CO_2) and with hydrogen (H) to form water (H_2O). The water (H_2O) is then photolyzed by UV light ($h\nu$) into hydroxyl radicals (OH) and hydrogen (H), completing the cycle.

On the right, a graph shows the temperature profile of the Martian atmosphere. The y-axis represents altitude in kilometers (0 to 200 km), and the x-axis represents temperature in Kelvin (80 to 280 K). The profile shows a decrease in temperature with altitude, with a minimum of about 150 K at 100 km. The temperature at the surface is about 250 K. The graph also shows the concentration of various atmospheric species as a function of altitude. The species shown are CO_2 , O , OH , O_2 , and O_3 . The concentration of CO_2 is highest at the surface and decreases with altitude. The concentration of O is highest at the surface and decreases with altitude. The concentration of OH is highest at the surface and decreases with altitude. The concentration of O_2 is highest at the surface and decreases with altitude. The concentration of O_3 is highest at the surface and decreases with altitude.

Key data points from the graph include:

- Viking 1: 22.3° N, 4.13 PM LMT, 20 July 1976, $\lambda_0 = 96^\circ$
- Viking 2: 47.6° N, 19.4° LMT, Sept. 1976, $\lambda_0 = 117^\circ$
- Earth standard atmosphere

The diagram illustrates the episodic climate of Mars, showing transitions between different states over time. It is divided into three main sections: a top section for a 'Long-term, stable state', a bottom-left section for a 'Transient, cool-wet state', and a bottom-right section for a 'Cataclysmic episode'.

- Long-term, stable state (Top):** This section shows a cross-section of Mars with a 'Cold dry atmosphere' and 'Negligible erosion and weathering'. The surface is divided into 'Northern plains' and 'South Pole'. The atmosphere contains CO_2 and 'ice'. The crust contains SiO_2 and CaMgSiO_3 . The core contains CaMgSiO_3 and CO_2 . The time scale is $\text{Time} = 10^8 - 10^9 \text{ yrs}$.
- Transient, cool-wet state (Bottom-left):** This section shows a cross-section of Mars with a 'Transient, warm $10^2 - 10^3 \text{ yrs}$ ' period. The atmosphere contains $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{HCl}$. The surface is divided into 'Northern ice' and 'Southern ice'. The crust contains SiO_2 and CaMgSiO_3 . The core contains CaMgSiO_3 and CO_2 . The time scale is $\text{Time (last)} = 10^2 \text{ yrs}$.
- Cataclysmic episode (Bottom-right):** This section shows a cross-section of Mars with a 'Cataclysmic episode' and 'Time = $10 - 10^6 \text{ yrs}$ '. The atmosphere contains $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. The surface is divided into 'Ground ice' and 'Ground water'. The crust contains SiO_2 and CaMgSiO_3 . The core contains CaMgSiO_3 and CO_2 . The time scale is $\text{Time} = 10 - 10^6 \text{ yrs}$.

Arrows indicate the transitions between these states: from the long-term stable state to the transient cool-wet state, and from the transient cool-wet state to the cataclysmic episode. A large blue arrow points from the long-term stable state to the transient cool-wet state. A large blue arrow points from the transient cool-wet state to the cataclysmic episode. A large red arrow points from the cataclysmic episode back to the long-term stable state.

- **Meteorit ALH84001**
 - **Nalezen v Antarktidě v Allan Hills (1 z 23)**
 - **Stáří ca. 4 Gy, ejekce 15 My, impakt 13 tis. let**
 - **Objev „mikrobů“ opublikován v časopise Science v r. 1996**
 - **Dnes převládá názor, že jde o anorganický artefakt**



Mars

Panspermie mezi terestrickými planetami

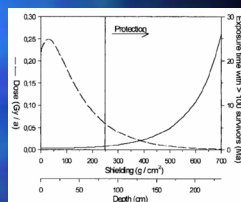
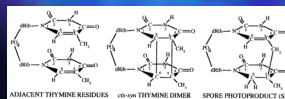
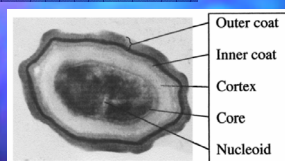
Rychlost (v./v.)	Země	Venuše	Mars	Slunce	Jupiter
1,0	5,13	3,1	1,5	9,5	3,0
1,8	5,34	4,0	2,7	8,0	6,0
2,3	5,53	7,7	4,7	9,0	5,0
2,7	5,71	5,3	4,0	1,7	9,3
3,3	6,02	6,3	3,7	2,0	13,3
					6,7

- Tabulka ukazuje účinnost přenosu částic vymrštěných z povrchu Marsu (úniková rychlost 5 km/s) v prvních 15 My po vymrštění do kosmu. Účinnost je udána jako % dopadnuvších částic (ze 300 počítačově simulovaných)
- Nejpravděpodobnější je výměna materiálu Země–Měsíc, dále Mars–Země, nejméně pravděpodobný je dopad materiálu na Zemi z Venuše
- Dopad materiálu z Marsu obnáší cestu v průměru 15 My, ale simulace ukazuje i možnost dopadu po 16 000 letech, sice!

B. J. Gladman et al., Science 271 (1996) 1387–1392.

Mars

Panspermie mezi terestrickými planetami



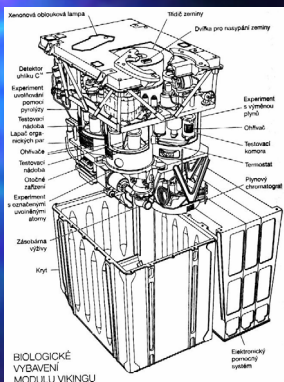
Přežití mikrobů je možné ve fázi sporulace a při stínění větším množstvím horniny. Problémem je přežít dopad takového tělesa...

W. L. Nicholson et al., Microbiol. Mol. Biol. Rev. 64 (2000) 548–572.

Mars

Kosmický výzkum

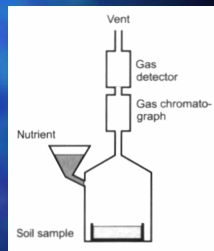
- Viking 1 a 2
- start 20. srpna a 9. září 1975
- dosažení cíle v srpnu 1976
- výměna látek mezi půdou a atmosférou
- uvolňování a asimilace uhlíku v půdě
- hledání organických složek



Mars

Hledání života – experimenty na Vikingu

- Experiment s výměnou plynů
- Vzorek martánské půdy byl nabrán do reakční komory
- Byl přidán výživný roztok
- Očekávalo se, že mikroorganismy budou při dobré výživě produkovat O_2 , CO_2 , H_2
- Zvýšená produkce plynů by byla důkazem metabolismu a tudíž života
- Uvolnila se velká množství O_2 ...
- Produkce tohoto plynu byla dána reakcí H_2O s horninou na Marsu
- Výsledky z posledních let, s půdou z pouště Atacama (tj., extrémně suchou) ukázaly naprosto shodné výsledky

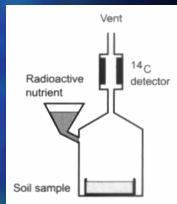


P. Ulmschneider: Intelligent life in the universe. Springer (2003) p. 155.

Mars

Hledání života – experimenty na Vikingu

- Experiment s izotopickým značenou výměnou
- Vzorek martánské půdy byl nabrán do reakční komory
- Byl přidán výživný roztok obsahující radioaktivně značený uhlík C^{14}
- Očekávalo se, že mikroorganismy budou po metabolizaci nutrientů uvolňovat radioaktivně značené plyny jako CO_2 a CH_4 , které budou detekovány radičním detektorem
- Opakovaná produkce radioaktivně značených plynů by byla důkazem metabolismu a tedy i života...
- Po prvním přidání se náhle uvolnily radioaktivně značené plyny ve velkém množství
- Po druhém přidání se nestalo téměř nic
- Výživný roztok reagoval s na oxid bohatými minerály v martánské půdě, po prvním přidání zreagovaly všechny složky...

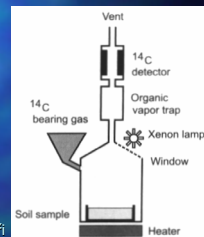


P. Ulmschneider: Intelligent life in the universe. Springer (2003) p. 155.

Mars

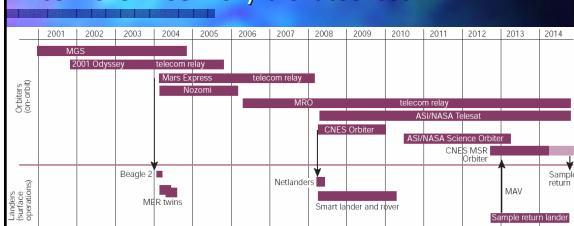
Hledání života

- Pyrolytický experiment
- Vzorek martánské půdy byl nabrán do reakční komory
- Byla přidána směs plynů identická s martánskou atmosférou, CO a CO_2 byly radioaktivně značeny C^{14}
- Očekávalo se, že mikroorganismy po inkubační době užijí plyny k fotosyntéze a zabudují C^{14} do organických látek
- Vzorek byl následně zahřán na sterilizační teplotu 750 °C, při které se organické látky odpaří
- Detekce C^{14} by znamenala přítomnost fotosyntetizujících mikroorganismů
- Nestalo se nic...
- Experiment byl po dlouhodobém vystérilování při 175 °C opakován – zase nic...
- Na Marsu nejsou přítomny fotosyntetizující organismy



P. Ulmschneider: Intelligent life in the universe. Springer (2003) p. 155.

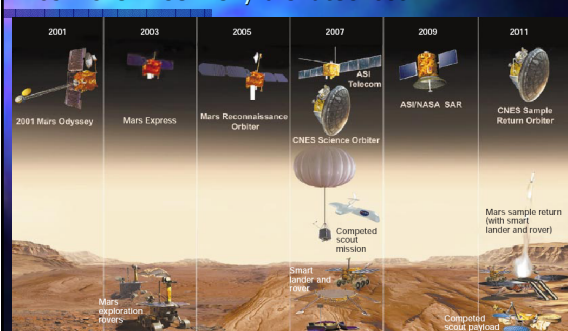
Kosmické mise – sny a skutočnosť



Plánované mise k Marsu. Stav z roku 2001...

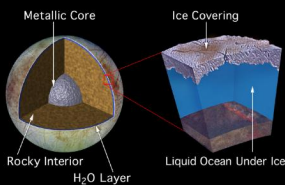
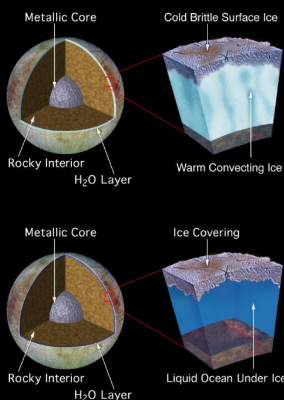
M. H. Carr & J. Garvin, *Nature* 412 (2001) 250–253.

Kosmické mise – sny a skutočnosť



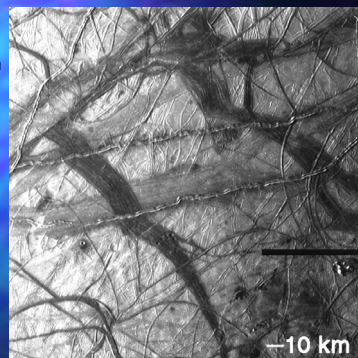
Těleso měsíce

- Průměr 1569 km, O_2 atmosféra, stopová množství sírných sloučenin
- Europe objevil Galileo Galilei r. 1610
- 1973 – průlet sond Pioneer
- 1977 – průlet sond Voyager – první kvalitní snímky Eury
- 1999 – sonda Galileo přinesla důkazy o možném oceánu na Eupé



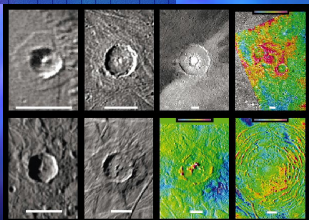
Hledání oceánu

- Vlivem slapového působení Jupiteru vznikají na Europě cykloidální praskliny
- Model ukazuje, že tento typ prasklin vyžaduje tekutou vrstvu pod ledovým příkrovem
- Ledový příkrov nemůže být více než 40 km silný

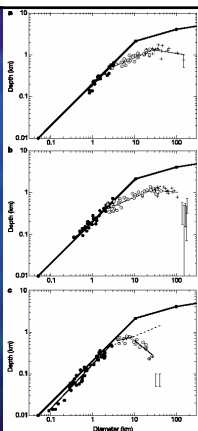


G. V. Hoppa et al., *Science* 285 (1999) 1899–1902.

Hledání oceánu

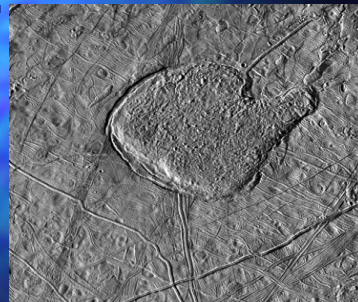


- Analýza hloubek kráterů na Callistu, Ganymedu a Europě prokázala přítomnost kapalné vrstvy pod ledovým přikrovem
- Ledový přikrov by měl mít mocnost >19 km a pravděpodobně spíše jen 7–8 km



Hledání oceánu

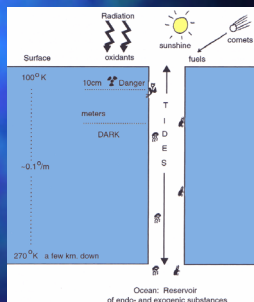
- Na povrchu měsíce se vyskytují zvláštní nepravidelné útvary
- Narušují systém prasklin
- Jde o vyvřšeniny nebo propadliny
- Jejich velikost je >10 km a zdola nebylo nalezeno omezení
- Může jít o vyvěrání tekoucího ledu, nebo teplé vody



Europa

Život v oceánu?

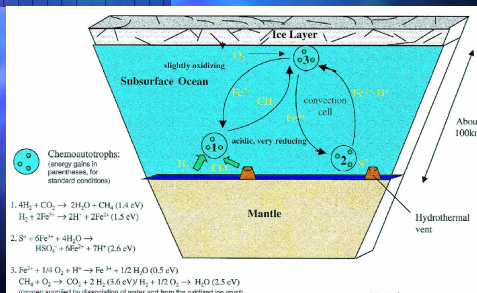
- Horká zřídla, ale především zlomy v ledovém příkrovu mohou představovat oázy života
- Spojují povrch s oceánem – přinášejí živiny
- Při zvládnutí hypernace nebo přemístění přes oceán je možné, že organismy obývají převážně tyto oblasti
- Ve vrstvách blízkých povrchu je dokonce v principu možná fototrofie



G. Horneck & C. Bazm Stark-Khan: Astrobiology, Springer (2001) p. 120.

Europa

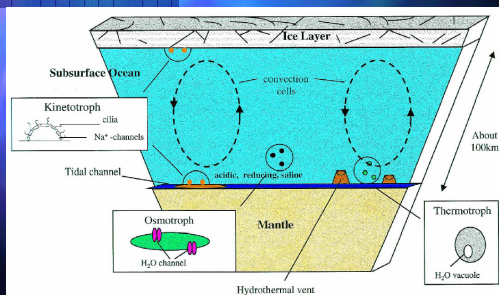
Život v oceánu – hledání zdrojů energie



D. Schulze-Makuch & L. N. Irwin, Astrobiology 2 (2002) 105–121.

Europa

Život v oceánu – hledání zdrojů energie



D. Schulze-Makuch & L. N. Irwin, Astrobiology 2 (2002) 105–121.

Europa

Plánovaný výzkum

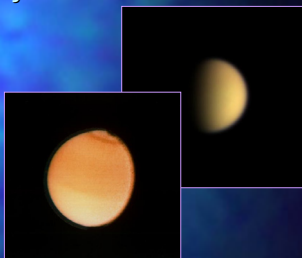
- Snahou je vyslat sondu, jež by detailně prozkoumala povrch Europy a ledovou tloušťku příkrovu
- >2008 – Europa Orbiter
- >2010 – JIMO (Jupiter Icy Moons Orbiter)
- Další fáze zahrnuje přistání na povrchu, provrtání ledu a vypuštění hydrobota
- >2009 – Europa Landers
- Osud dalšího výzkumu velice nejistý...



Titan

Základní historické údaje

- 1655 – objeven Christianem Huygensem
- 1900 – Comas Sola objevuje projevy atmosféry
- 1944 – Gerard Cuiper spektroskopicky odhaluje metanovou atmosféru
- 1980–81 – průlet sond Voyager 1 a 2 (min. 4000 km)
- 1. 7. 2004 – průlet sondy Cassini-Huygens k Saturnu
- 14. 1. 2005 – přistání sondy Huygens na Titanu

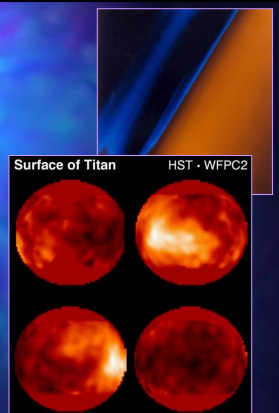


Fotografie ve viditelném světle. Dole – Voyager 2 (24. 8. 1981, 2,3 mil. km), nahoře Cassini (10. 6. 2004, 13,1 mil. km)

Titan

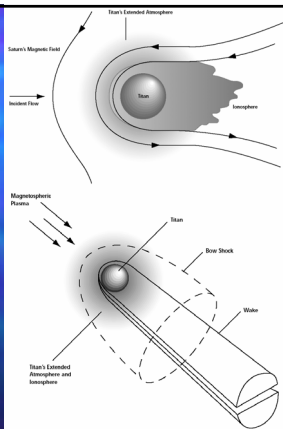
Měsíc Saturnu v číslech

- Největší měsíc Saturnu a 2. největší měsíc vůbec
- Poloměr 2 575 km
- Rotační perioda 15,95 dne
- Vzdálenost od Saturnu 1 221 850 km
- Průměrná hustota 1,88 g/cm³ (Měsíc 3,34 g/cm³, Europa 2,97 g/cm³, Ganymed 1,94 g/cm³)

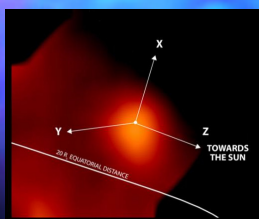


Titan Magnetosféra

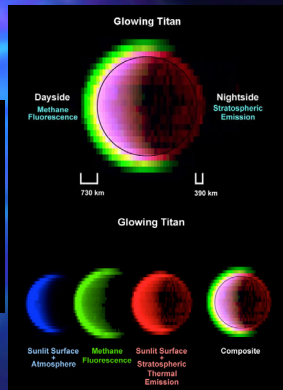
- Titan obíhá ve vzdálenosti 20,3 poloměrů Saturnu
- Titan prochází magnetosférou Saturnu (vně i uvnitř) v různých úhlech vzhledem k slunečnímu toku
- Interakce plazmy s vrchní vrstvou atmosféry vytváří složitější organické sloučeniny
- V ionosféře převládají nabitě uhlovodíky
- Má Titan vlastní magnetosféru?
- Vznikají v atmosféře blesky?



Titan Složení atmosféry



Obлак neutrálních atomů kolem Titanu se prostírá až do vzdálenosti 70 000 km. Atmosféra se rozprostírá do ca. 450 km nad povrchem Titanu.



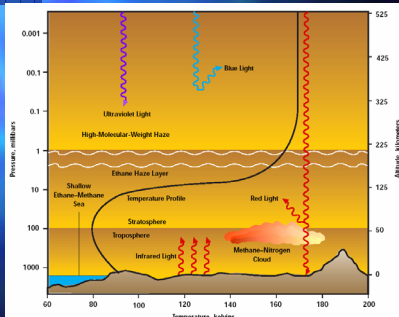
Titan Složení atmosféry

Vzorec	Název	Koncentrace v atmosféře
N_2	dusík	90–97 %
uhlovodíky		
CH_4	methan	2–10 %
C_2H_2	acetylen	2,2 ppm
C_2H_4	ethylen	0,1 ppm
C_2H_6	ethan	13 ppm
C_3H_8	propan	0,7 ppm
nitrily		
HCN	kyanovodík	160 ppb
HC_3N	kyanoacetylen	1,5 ppb

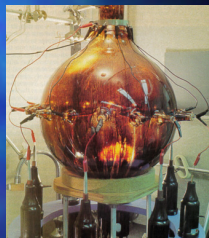
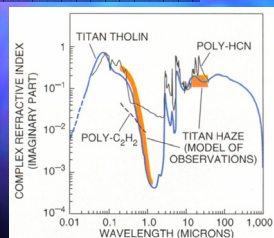
L. J. Spilker (Ed.): Passage to a ringed world. JPL, NASA, CIT (1997).

Titan Struktura atmosféry

- Tlak na povrchu 1,5 atmosféry
- Teplota na povrchu 94 K
- Tropopauza ve 42 km má teplotu 70 K
- Velice komplexní atmosféra s projevy počasí



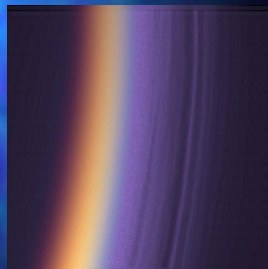
Titan Simulace atmosféry v pozemských laboratořích



Vznik tholinů. Při simulaci Titanovy atmosféry v laboratoři vznikají při UV-ozáření směsi methanu a dalších sloučenin organické polymery, oranžovožluté barvy, zvané tholiny – zodpovědné za oranžový nádech atmosféry a její neprůhlednost.

Titan Chemie atmosféry

- Fotochemie ve vysokých vrstvách: $CH_4 + h\nu \rightarrow CH_3 + H_2 \rightarrow$ rekombinací vznikají různé uhlovodíky
- Ethan je nejčastějším produktem fotochemického rozkladu methanu
- Vodík uniká do kosmu
- Jde o nevratný proces, tj. veškerý methan se bez doplnění spotřebuje za 10 milionů let
- Uhlovodíky polymerizují v atmosféře (především HCN a C_2H_2) a snázejí se k povrchu, vzniká „frakcionace“ vrstev atmosféry

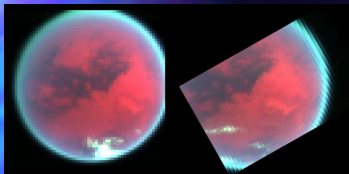


Detail atmosféry ve výškách stovek km.

Titan

Projevy počasí

- Atmosféra je přesycena parami methanu
- Methan může tvořit oblaka
- Děšť a methanový sníh jsou závislé na přítomnosti prachových částic v atmosféře (je jejich nedostatek)
- Rozdíl teplot mezi rovníkem a 60° šířky činí ca. 15 K, což vyvolává vítr, ve stratosféře tryskové proudění až 100 m/s



Oblakost v Titanové atmosféře. Dvojice snímků ze sondy Cassini pořízená s odstupem 7 týdnů ukazuje vývoj methanové oblakosti nad jižním pólem.

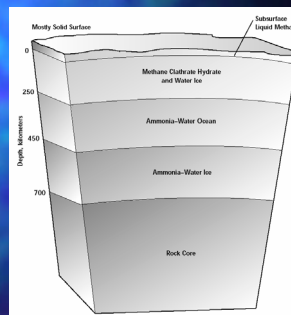


Oblakost ve středních šířkách. Detail oblakosti na 38° jižní šířky táhnoucí se do délky 250 km.

Titan

Povrch a těleso měsíce

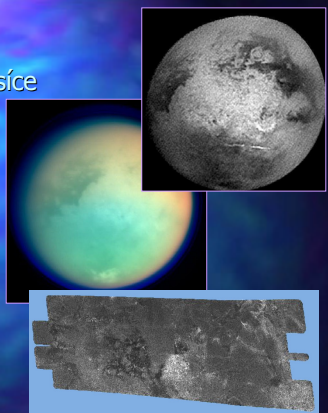
- Nízká hustota ($1,88 \text{ g/cm}^3$) ukazuje, že těleso je složeno z 50 % z vodního ledu a 50 % tvoří křemičité horniny
- Těleso měsíce je s velkou pravděpodobností diferenciováno
- V hloubce ca. 250 km pod povrchem se nachází oceán z čpavku a vody
- Těsně pod povrchem se nachází vrstvy kapalného methanu



Titan

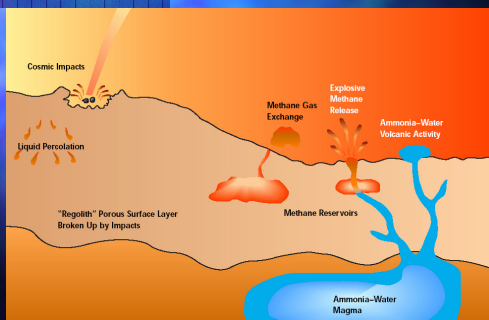
Povrch a těleso měsíce

- Teplota na povrchu umožňuje existenci oceánu methanu a ethanu (-182° – -160° , -172° – -83° C resp.)
- Na povrchu není žádný rozsáhlý oceán, připouští se nejvýše malá jezírka <10 km
- Převážná část povrchu je tvořena vodním ledem
- Na povrchu je svět 1/1000 pozemského denního světla (ca. 350× více než za úplňkové noci)
- Povrch je mladý...



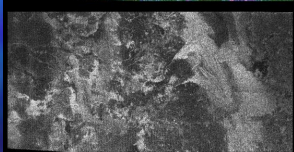
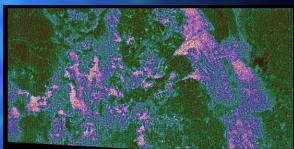
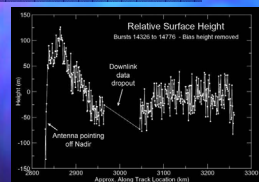
Titan

Geochemie povrchu



Titan

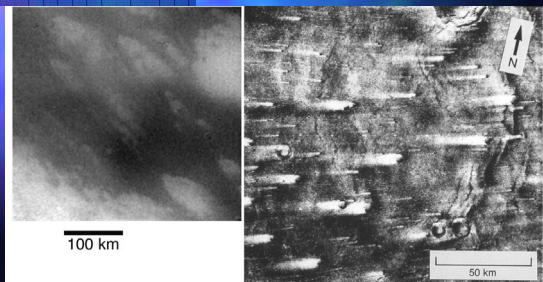
Povrch a těleso měsíce



Povrch Titanu je relativně hladký s malým převýšením. Oblast vlevo má rozměry 150×300 km a ukazuje ostré rozdíly mezi hladkými (tmavé, zelené) a členitými oblastmi povrchu.

Titan

Povrch a těleso měsíce

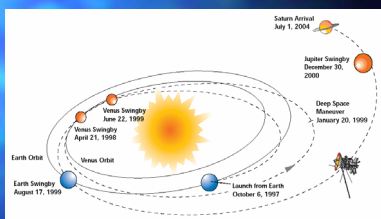


Porovnání terénu na Titanu (vlevo) a na Marsu. Struktury svědčí o povrchové erozi.

Titan

Kosmická sonda Cassini-Huygens

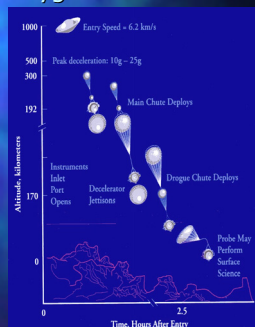
- Start sondy 15. 10. 1997
- Gravitační urychlení 2x u Venuše (1998, 1999), u Země (1999), u Jupitera (2000)
- 1. 7. 2004 vstup na oběžnou dráhu kolem Saturnu
- 25. 12. 2004 oddělení sondy Huygens
- 14. 1. 2005 přistání sondy Huygens na měsíci Titan



Titan

Kosmická sonda Cassini-Huygens

- Sonda je vybavena experimenty:
- Doplerovský experiment – měření rychlosti větru v atmosféře
- Sběračem aerosolů pyrolyzátor – sběr aerosolů 18–23 km a následná analýza
- Plyný chromatograf a hmotový spektrometr – analýza plyných vzorků
- Sestupová kamera a radiometr – měření optických vlastností prostředí, snímání povrchu
- Měření vlastností atmosféry – teplota, tlak, konduktivita, etc.
- Experimenty na povrchu – spektrometrie povrchu



Titan

Záhadné těleso... a hazardní předpověď

- Na povrchu nebude ani stopa po velkých plochách kapalného methanu nebo ethanu
- Povrch bude pokryt směsí regolitu (řádově 100. m) a polymerizovaných uhlovodíků
- Pod regolitem budou depozice kapalného methanu
- Budou nalezeny stopy vulkanické činnosti na bázi voda-amoniak, které omlazují povrch
- Budou nalezeny složité organické sloučeniny včetně aminokyselin a bázi nukleových kyselin
- Bude větrno a nebude pršet ani sněžit...

Dárky bývají různé

Pozor na kontaminaci cizích světů!

