

Astrobiologie

Nový vědní obor

Mgr. Jana Kvíderová, Ph.D.

Botanický ústav AV ČR, v.v.i., Třeboň
2009

Astrobiologie

= multidisciplinární věda o životě MIMO planetu Zemi, zahrnuje biologii, chemii, fyziku, technické vědy aj.

- všechny formy života od mikrobů ve Sluneční soustavě po signály inteligentních bytostí z druhého konce Galaxie
- překrývání s „pozemskou“ biologií
 - založení životních pochodů jen na L-stereoizomerech aminokyselin
 - udržování genetické informace jen v DNA
 - možnost jiných genetických kódů

CO hledat? Co je život?

- není univerzální definice života
- termodynamika: otevřené pracující systémy
- popis vlastnosti života

Popis vlastností života na Zemi (Svoboda 2001)

- | | |
|---|---|
| 1. Založen na uhlíku a jeho metabolismu | 9. Sám se sestavuje |
| 2. Společný původ | 10. Sám se udržuje, brání a odolává destrukci |
| 3. Společné stavební prvky a operační systémy | 11. Sám se opravuje |
| 4. Vázaný na vodu | 12. Sám se přeuspořádává a dekonstruuje |
| 5. Závislý na okolním prostředí | 13. Programován k zániku a sebeustrukci |
| 6. Interaguje a komunikuje s okolím | 14. Sám se vyvíjí |
| 7. Vyskytuje se v jednotlivých „balících“ živé uspořádané hmoty | 15. S rostoucí uspořádaností méně deterministický |
| 8. Sám se reprodukuje | 16. Nepřetržitě přítomný |

CO hledat? Nejen uhlík a voda

- **Jiné biopolymery**
 - Jiné aminokyseliny
 - Jiné složení DNA
- **Jiné solventy**
 - Amoniak
 - Peroxidy vodíku
 - Kyselina kyanovodíková
 - Koncentrovaná kyselina sírová
 - Sirovodík
 - Metan...
- **Jiné prvky**
 - Křemík
 - Bór...
- **Jiná architektura**
 - Svět RNA
 - Proteiny jako nosič genetické informace



CO hledat? Definice pro astrobiologii

Definice dle Schulze-Makuch et al. (2002)

- 1) Složený z ohraničených mikroprostředí, které jsou v dynamické nerovnováze s okolím
- 2) Schopný přeměňovat energii a okolní prostředí, aby si udržoval stav nízké entropie
- 3) Schopný kódování informací a jejich přenosu

Při pátrání po životě nutno zahrnout

- 1) Zdroj energie v daném prostředí
- 2) Rozpouštědlo
- 3) Stavební prvky

KDY hledat?

- stáří vesmíru: 13.7×10^9 let
- první hvězdy $\sim 13.3 \times 10^9$ let
- vznik prvních galaxií $\sim 13.2 \times 10^9$ let
- první planety $\sim 11 \times 10^9$ let

Sluneční soustava

- vznik Galaxie 10×10^9 let (halo)
- vznik Slunce 5×10^9 let
- vznik Země 4.6×10^9 let
- vznik Měsíce 4.4×10^9 let
- první život (Země) $3.8 - 3.9 \times 10^9$ let
- Eukaryota 2×10^9 let
- mnohobuněční živočichové 600×10^6 let
- první lidé 3×10^6 let
- první pokus o mezihvězdnou komunikaci 50 let

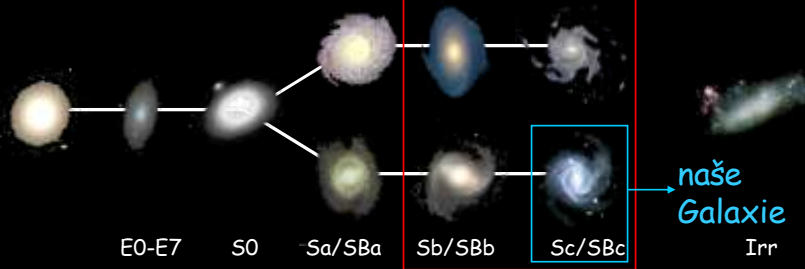
KDE hledat?

Ekosféra (zóna obyvatelnosti, habitable zone)

= oblast, kde jsou podmínky vhodné pro vznik a vývoj života

- původně definována podle požadavků života na povrchu Země, tj. přítomnost kapalné vody a odpovídající teploty povrchu
- dnes rozšířena s ohledem na extrémofilní organismy
- proměnná v čase
- definována z pohledu
 1. galaxie
 2. hvězda
 3. planeta/měsíc

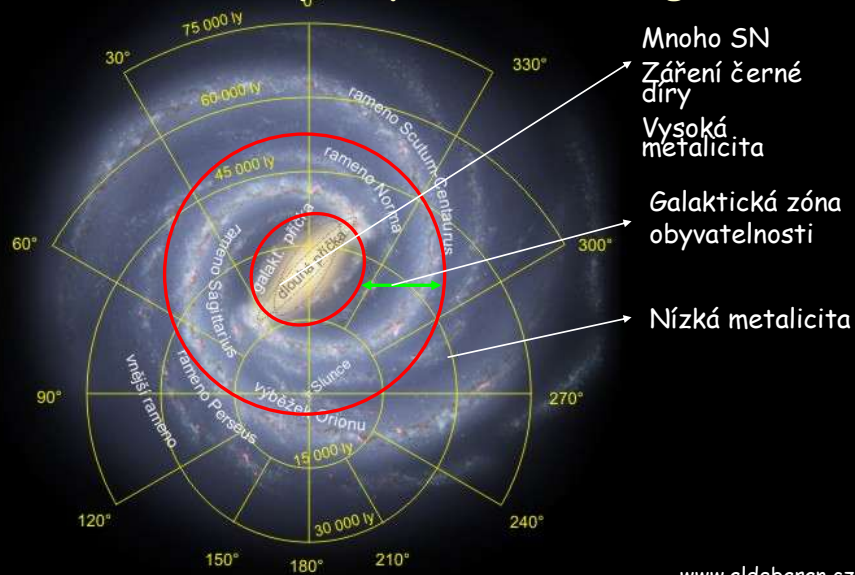
KDE hledat? Jaká galaxie?



	E0-E7	S0	Sa/SBa	Sb/SBb	Sc/SBc	Irr
Jádro/výdut'	Celá výdut', ne disk	Výdut' a disk	Rozsáhlé	→	Malé	žádné
Spirální ramena	Ne	Ne	Těsné hladké	→	Otevřené, chomáčovitě, nepravidelné	Nahodilé tvary
Plyn	Téměř žádný	Téměř žádný	~1 %	2 - 5 %	5 - 10 %	10-50 %
Mladé hvězdy HII oblasti	Ne	Ne	Stopy	→	Četné	Dominantní
Stáří hvězd	Všechny staré	Staré	Některé mladé	→	→	Většinou mladé, někdy velmi staré

Snímky galaxií a tabulka jejich vlastností z astronomia.zcu.cz

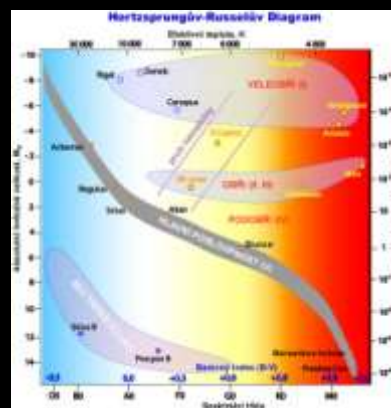
KDE hledat? Zóny obyvatelnosti v galaxii



KDE život hledat? Typy hvězd

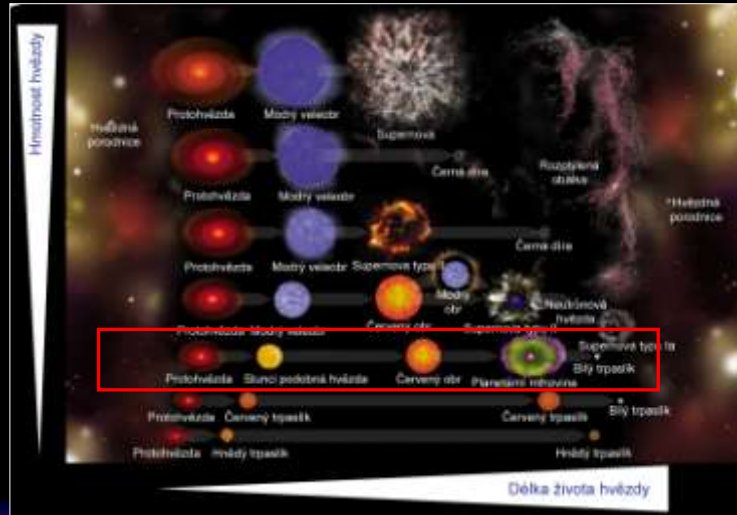
- 200×10^9 hvězd v Galaxii

Charakteristika	Rozpětí
Hvězdná velikost	14 - -10
Vzdálenost	1.5×10^8 km - 4×10^9 pc (?)
Spektrální třída	OBAFGKM
Efektivní teplota	2500 - 100 000 K
Zářivý výkon	1.5×10^{-5} - $10^7 L_S$
Poloměr	1.7×10^{-5} (12 km) - 2000 R_S
Hmotnost	0.075 - 60 M_S
Znečištění	0 - 5 %



KDE život hledat? Životní cyklus hvězd

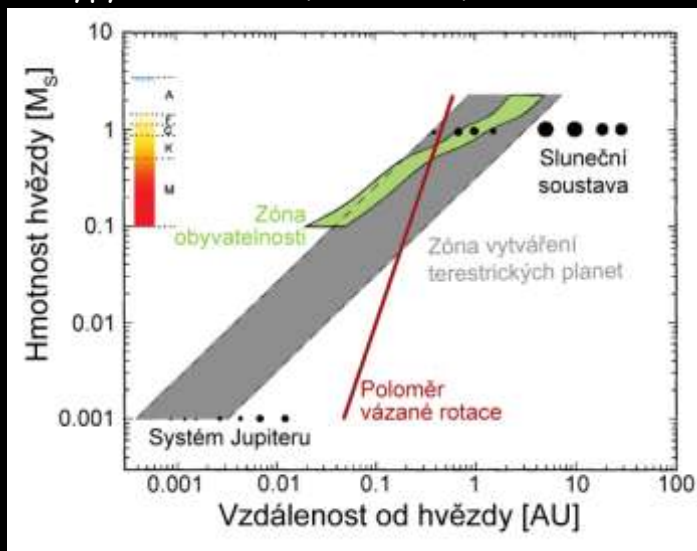
- délka života hvězdy je nepřímo úměrná její hmotnosti
- pro vývoj komplexního života je třeba min. 4×10^9 let



Upraveno z Chandra X-ray Observatory, www-astro.physics.ox.ac.uk

KDE hledat? Zóna obyvatelnosti hvězd

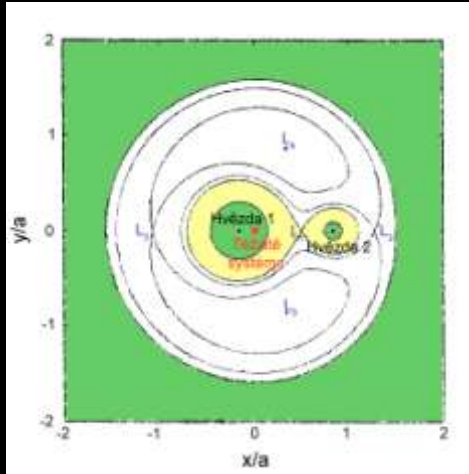
- vhodné typy hvězd FGK (Slunce G2)



Upraveno z Karsting et al. (1993)

KDE život hledat? Problémy s dvojhvězdami

- 60 - 80 % dvojhvězd či vícenásobných systémů



astronomia.zcu.cz

- stabilní oběžné dráhy kolem jednotlivých složek, tyto složky musí být od sebe velmi vzdálené
- stabilní oběžné dráhy kolem obou složek, složky musí být blízko sebe
- librační body
- podmínky na planetě velmi variabilní

KDE hledat? Požadavky na planetu

Charakteristika		Optimální
Hmotnost	Pomalá mutageneze x řídká nebo žádná atmosféra	0.4 - 2.3 M_Z
Sklon osy	Střídání ročních období	15° - 30°
Rotace	Střídání dne a noci, slapové jevy	do 96 hod
Joviánská planeta	Vyčištění prostoru od komet a asteroidů	Ano, větší vzdálenost
Malá planeta	Zásobní zdroj života	Ano
Velký měsíc	Stabilizace rotační osy	Ano
Atmosféra	Stabilizace teploty	Ano
Oceány/moře	Stabilizace teploty	Ano
Desková tektonika	CO ₂ -silikátový termostat, udržování magnetického pole	Ano

Pátrání ve Sluneční soustavě

- současný stav vědomostí naznačuje, že původ a evoluce života je těsně spojena s planetární a chemickou evolucí
- je proto nezbytné mít co nejpodrobnější data o geologických procesech na planetě, chemickém a izotopovém složení povrchových vrstev a atmosféry, současném klimatu a jeho vývoji



Průzkum planety či měsíce dalekohledem

Výhody

- použití pro sledování celé planety
- pro spektrální analýzy a snímkování povrchu
- lze použít i pro extrasolární planety

Nevýhody

- nelze sledovat podrobnosti
- mez rozlišení je u HST za nejlepších podmínek (Mars v opozici) zhruba 100 km

Průzkum planety či měsíce kosmickými sondami

Výhody

- snímkování povrchu s vysokým rozlišením (až 30 cm na obrazový bod; MRO)
- chemické a izotopové analýzy
- studium magnetosféry
- provádění experimentů na povrchu atd.

Nevýhody

- náklady na provoz
- riziko kontaminace planety

Nejzajímavější místa ve Sluneční soustavě

- **Venuše** - horní vrstvy atmosféry
- **Země** - vývoj a kalibrace přístrojů pro detekci života
analog mimozemských podmínek
jediné známé místo výskytu astrobiologů
- **Mars** - (pod)povrchové vrstvy, hlubinná horká biosféra
- **systém Jupiteru**
 - **Europa** - podpovrchový oceán
 - **Ganymedes** - podpovrchový oceán
 - **Callisto** - podpovrchový oceán
- **systém Saturnu**
 - **Titan** - povrch
 - **Enceladus** - podpovrchový oceán
- **komety** - prebiotická chemie

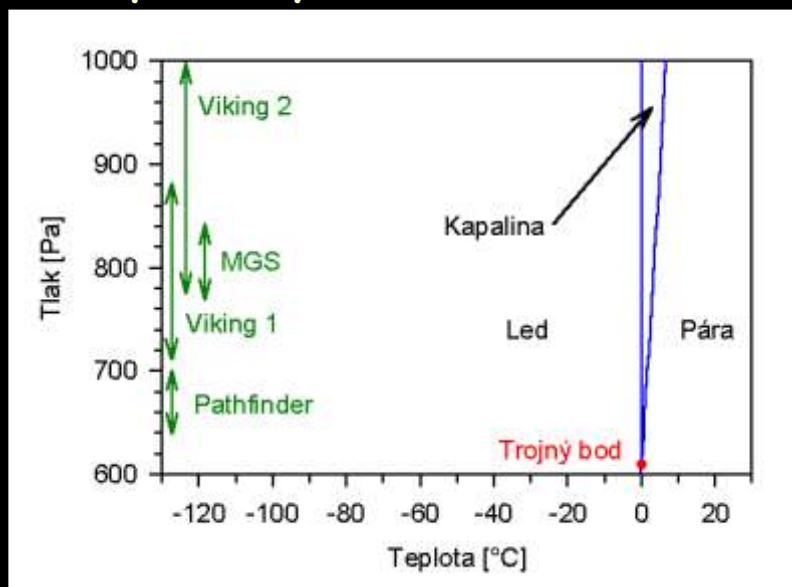
Mars

- planeta nejvíce podobná Zemi
- předpokládá se, že počáteční fáze planetárního vývoje byly podobné, Mars musel být dříve vlhčí a teplejší
- na povrchu byly nalezeny známky přítomnosti kapalné vody - koryta řek
- je možné, že zde vznikl život a na povrchu lze nalézt fosilie počátečních fází
- život mohl přetrvat dodnes
- planeta, ke které letělo nejvíc sond (39 ks k 28.1.2009)



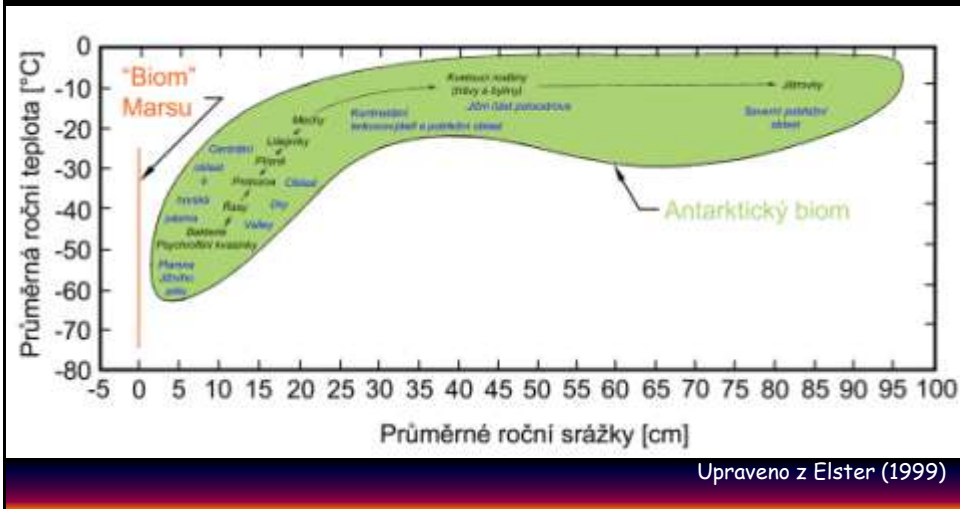
NASA

Dnešní podmínky na Marsu



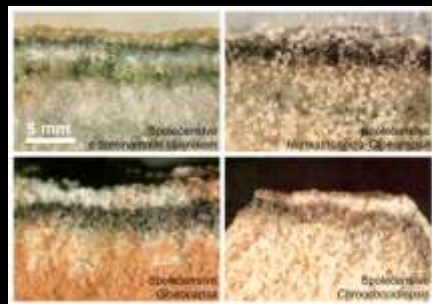
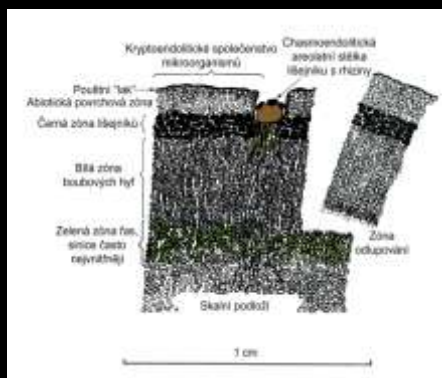
Možné ekosystémy Marsu – chladné pouštle

- Pozemský analog - pouštle Antarktity (Dry Valley)
 - centrální oblast Antarktity

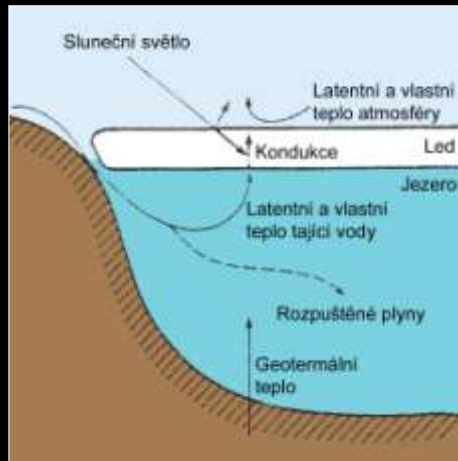


Možné ekosystémy Marsu – endolitická společenstva

- Pozemský analog - endolitická společenstva
 - chladných pouští



Možné ekosystémy Marsu - stále zamrzlá jezera



Upraveno McKay et al. (1985)
a McKay et Stoker (1989)

Pozemský analog
- stále zamrzlá jezera
Antarktidy v oblasti Dry
Valley



G. Somero

Možné ekosystémy Marsu - „deep cold biosphere“ a „deep hot biosphere“

„Deep cold biosphere“

- život v permafrostu
- psychofilní nebo psychrotolerantní mikroorganismy

„Deep hot biosphere“

- život v hlubinách
- termofilní barofilní mikroorganismy
- na Zemi objem biomasy v „deep hot biosphere“ je větší než na povrchu

Astrobiologické cíle při průzkumu Marsu

NASA 1995

1. definovat podmínky na Marsu na počátku geologického vývoje a určit, do jaké míry se lišily od podmínek na Zemi.
2. určit historii biogenních prvků (C, H, N, O, P, S) a organické chemie na Marsu.
3. zjistit, jestli život na Marsu existuje, nebo existoval.
 1. do jakého stupně pokročila chemická evoluce na Marsu?
 2. pokud proběhla chemická evoluce, vedla k syntéze samoreplikujících se molekul, které později zanikly?
 3. pokud samoreplikující se systémy vznikly, přetrvávají na Marsu ještě dnes?

Fáze 1: Celkový průzkum

- role vody a identifikace míst vhodných pro přistání
 - globální informace o distribuci vody
 - globální mineralogické a litologické mapování
 - mapování teplot
 - mapování povrchu s velkým rozlišením

Mise:

1965 - Mariner 4 (fly-by)

1971 - Mariner 9

1976 - Viking 1 a Viking 2



1997 Mars Global Surveyor

- 12.9.1997 navedení na polární dráhu, postupný přechod na nižší aerobreakingem
- od března 1999 mapovací fáze
- činnost ukončena v prosinci 2006

Hlavní výsledky

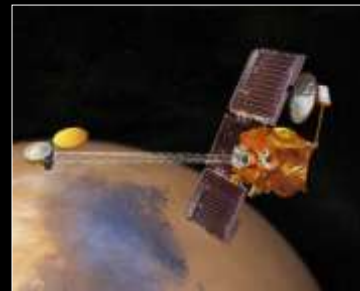
- objev magnetického pole
- pozorování meteorologických jevů po dobu 1 roku
- data o struktuře litosféry a kůry
- důkaz o přítomnosti vody na povrchu
- detailní snímky povrchu



NASA

2001 - Mars Odyssey

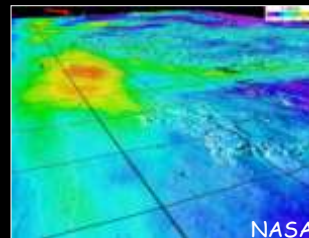
- přílet k Marsu 24.10.2001
- detailní mineralogický průzkum pomocí γ -spektrometru
- sledování radiace v okolí planety
- hledání vody blízko povrchu a minerálních depozitů vzniklých činností vody



NASA



Upraveno z NASA



↑ Koncentrace draslíku na povrchu.



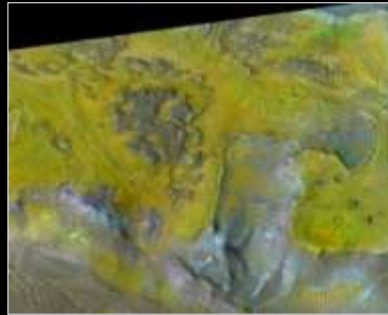
NASA

2005 - Mars Reconnaissance Orbiter

- přílet k Marsu 10. března 2006
- charakteristika klimatu a fyzikálních mechanismů jeho sezónních a ročních změn
- objev ledovců v podpovchových vrstvách
- objev uhličitánů (př. Nili Fossae)



NASA



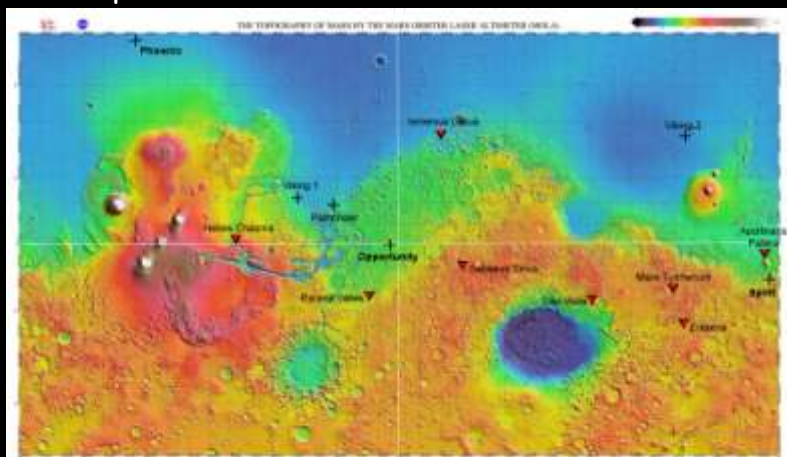
NASA



NASA

Fáze 2: Přistání a *in situ* popis míst identifikovaných ve fázi 1

- geochemická a mineralogická charakteristika mikroprostředí



Upraveno z NASA

Místa na povrchu Marsu zajímavá pro geologii, klimatologii a exobiologii

Ares Valis 1997 - Mars Pathfinder

- bývalé řečiště
- blízko místa přistání Vikingu 1
- přistání 4.7.1997
- technologická mise
- ukončena 27.9.1997
- lander + rover



NASA

Kráter Gusev a Ma'adim Vallis 2004 - Mars Exploration Rover Spirit

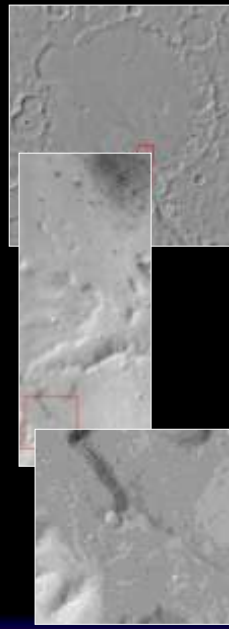
- vyschlé kráterové jezero
- území bylo pokládáno za exobiologické „El Dorado“
- přistání 3.1.2004, Columbia Memorial Station, směr Columbia Hills
- nalezen jemnozrnný křemen



NASA



NASA



NASA

Planum Meridiani 2004 - Mars Exploration Rover Opportunity

- pobřežní zóna starého jezera se sedimenty, možné hematity (MGS)
- přistání 24.1.2004, Challenger Memorial Station, směr kráter Endurance
- potvrzena přítomnost vody (hematity nalezeny)



Severní polární oblast 2008 - Phoenix

- možný výskyt ledu
- přistání 25.5.2008 severně od Tharsis
- potvrzena přítomnost ledu těsně pod povrchem
- středně alkalická půda



- nízké koncentrace solí, které mohou být živinami pro život
- perchloráty
- uhličitan vápenatý

?

2011 - Curiosity (Mars Science Laboratory)

- odhadnutí biologického potenciálu planety
- geologie a geochemie místa přistání
- studium radiace na povrchu
- nejméně jeden marsovský rok



Kráter Eberswalde	Jíly v místech, kde se řeka vlévala do jezera, možný výskyt uhlikatých sloučenin nezbytných pro život
Kráter Gale	5km hora uvnitř kráteru se sekvencí vrstev zachycujících změny podmínek od vytvoření jílových depozitů blízko dna, až po vrchol, kde se nacházejí později vytvořené sulfátové depozity
Kráter Holden	rokle s nánosovitými strukturami, depozity z katastrofických povodní a vrstevnaté nánosy na dně jezera
Údolí Mawrth	záplavové koryto ve vysočinách s různými typy jílu

?

2013 - ExoMars

- hledání známek minulého a současného života na Marsu
- charakterizace voda/geochemická distribuce jako funkce hloubky v malé hloubce pod povrchem
- studium povrchového prostředí a identifikace rizik pro budoucí pilotované mise
- průzkum pod povrchem a hlubokého jádra pro lepší pochopení evoluce a obyvatelnosti planety

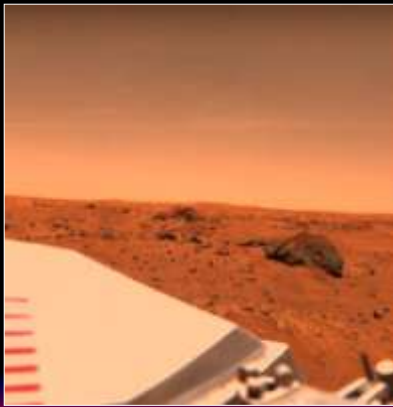


Fáze 3: Přistání s biologicky zaměřenými experimenty

- podrobná charakterizace jakýchkoliv organických a anorganických látek
- hledání biomarkerů a morfologických důkazů přítomnosti možných vyhynulých či žijících organismů
- experimenty týkající se metabolismu živých organismů, založené na znalostech podmínek a zdrojů v daném místě

1976 Viking 1 a 2 (Landery)

- meteorologická pozorování, rozbor půdy a biologické pokusy v místě přistání



NASA

- výběr míst s minimálním rizikem při přistání
- přistání
 - Viking 1: 20.7.1976
Chryse Planitia
 - Viking 2: 3.9.1976
Utopia Planitia

NASA

Bizony (1998)

Biologické vybavení

- hmotnost 15,5 kg
- 4 pokusy
 - výměna plynů (GEX)
 - uvolňování označených atomů (LR)
 - uvolňování pomocí pyrolýzy (PR)
 - plynová chromatografie/hmotový spektrometr (GC/MS)

Závěry plynoucí z pokusů Vikingu 1 a 2

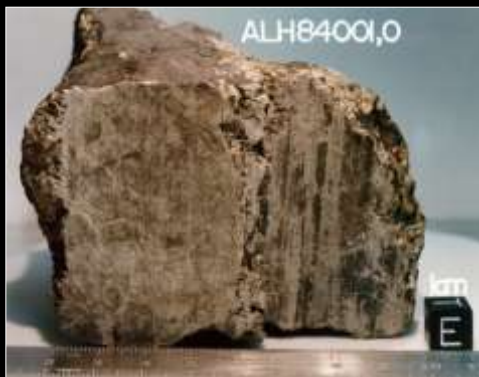
- pozorované výsledky byly způsobeny neobvyklou chemií půdy
- později zjištěna nepřesnost detekčních metod
 - jeden vzorek byl pozitivní při použití LR, ale negativní při zkoumání GC/MS
 - ani dnes nelze detekovat pomocí HPLC organickou hmotu, je-li počet mikroorganismů v půdě menší než několik milionů
- nutno použít metody detekce vhodné pro podmínky *in situ*, nikoliv pro „klasické“ pozemské organismy
- možné organismy založené na peroxidech

Fáze 4: Automatický odběr a návrat vzorků na Zemi

- zlepšení charakterizace organických látek v místě přistání
- potvrzení možného důkazu o existenci života získaného během fáze 3
- 2020 - 2022 Mars Sample Return
- meteority z Marsu
 - SNC meteority
 - známo 34 meteoritů

ALH84001

- meteorit starý 4.5×10^9 let
- vyvržen před 14.4×10^6 let z povrchu Marsu,
- dopadl před 13 tis. lety v Allan Hills, Antarktida
- možné mikrofosílie v meteoritu

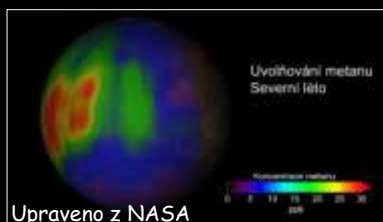


Mc Kay et al. (1996)

- 5 indicií
 - polyaromatické uhlovodíky
 - uhličitanové globule
 - magnetitová zrna
 - mikrofosílie
 - izotopy

Fáze 5: Pilotovaná mise

- detailní geologický kontext exobiologicky významných pozorování
- detekce „oáz“, kde by život mohl přetrvávat a které mohly být opomenuty během automatického průzkumu



Metan na Marsu

- NASA Infrared Telescope Facility a Keckův teleskop na Mauna Kea
- výrony na jaře a v létě, někdy zaznamenána vodní pára
- oblasti, kde se vyskytovala kapalná voda nebo led, tj. východ Arabia Terra, oblast Nili Fossae a jihovýchodní kvadrant Syrtis Major
- biologický původ: metanogenní bakterie, jedny z nejstarších forem života na Zemi
- chemický původ: reakce H_2O a CO_2 hluboko pod povrchem (oxidace železa)

Pátrání po životě na Marsu

Rok	Mise	BIOLOGIE		CHEMIE	
		domácí	:	hosté	:
1976	Viking	1	:	3	
1996	ALH 84001	0	:	5	
		1	:	4	
2009	Metan	1	:	1	
?	Návrat vzorků				
?	Pilotovaná mise				
Průběžné skóre		2	:	9	
		3	:	8	

Europa a další galileovské měsíce Jupiteru Ganymedes a Callisto

- pod ledovým povrchem měsíců se může vyskytovat oceán kapalné vody, ve kterém by se mohl rozvinout život
- ekosytémy nezávislé na slunečním záření jsou známy i na Zemi
- vysoká odolnost k radiaci je prokázána i u pozemských mikroorganismů, př. *Deinococcus radiodurans*
- Snímky během průletu
 - 1973 - 1974 - Pioneer 10 a 11
 - 1979 - Voyager 1 a 2
 - 1992 - Ulysses
 - 2000 - Cassini-Huyghens
 - 2007 - New Horizons



NASA

1994 - Galileo

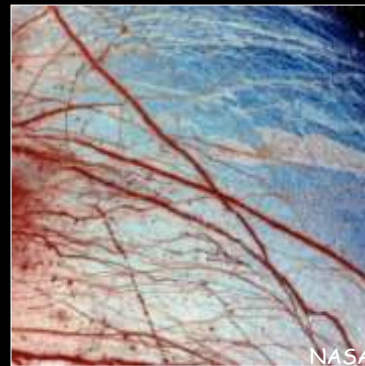
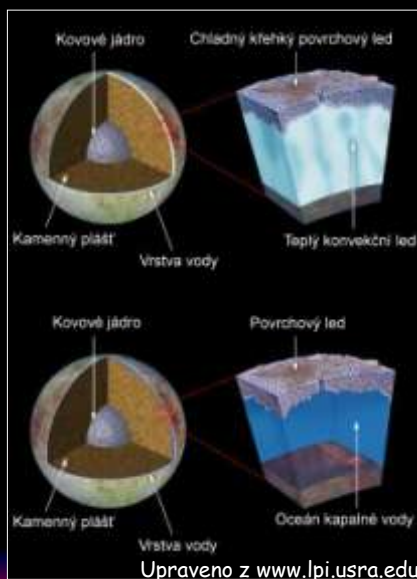
- možný oceán na Europě
- detailní snímkování povrchu Europy
- možný oceán hluboko pod povrchem Callista
- popis bouří v Jupiterově atmosféře
- složení prstenců
- aktivní sopky na Io
- vlastní magnetické pole Ganymedu



NASA

Vnitřní struktura Europy

- Tloušťka ledu 10 - 100 km



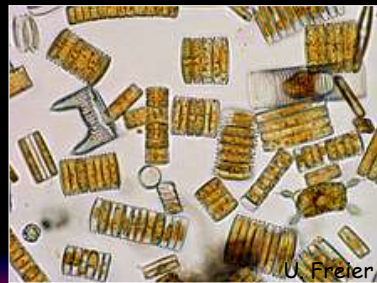
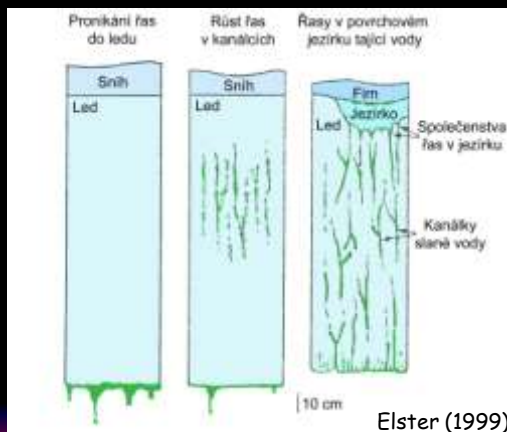
NASA



NASA

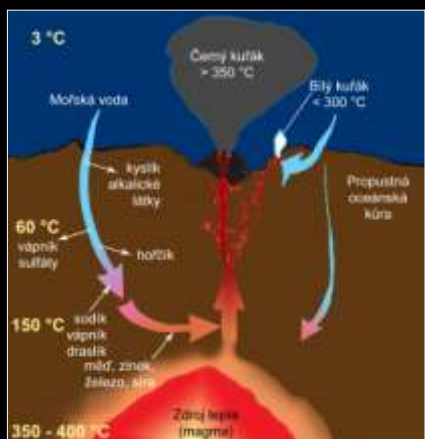
Možné Ekosystémy Europy - pukliny ledu

Pozemský analog - ledové
pukliny v polárních
oblastech oceánů



Možné ekosystémy Europy - podmořské ekosystémy

Pozemský analog
- Hlubokomořské
hydrotermální ventily



Titan

- zajímavý pro studium raných fází vzniku života
- hustá atmosféra, převážně z N_2 , CH_4 , NH_3 , ultrafialové záření, elektricky nabitě částice Saturnovy magnetosféry, kosmické záření
- organická látka tholin, ze které po reakci s vodou vznikají aminokyseliny a stopová množství dusíkatých bází

Snímky během průletu

- 1979 - Pioneer 10
- 1980 - Voyager 1
- 1981 - Voyager 2



2005 - Cassini - Huygens

- přílet k Saturnu 1.7.2004

Cassini

- magnetosféra a její interakce s měsíci, prstenci a slunečním větrem



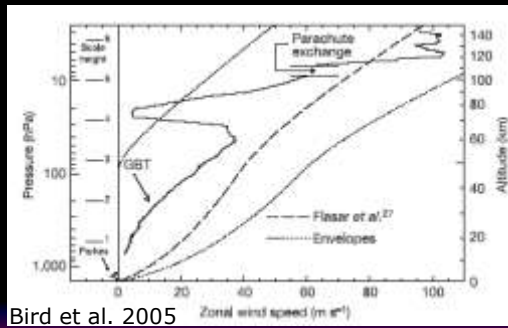
- vnitřní struktura a atmosféra Saturnu
- prstence
- atmosféra a povrch Titanu
- povrch a struktura dalších měsíců



ESA/NASA

Huygens

- vypuštění pouzdra 14.1.2005
- struktura a složení atmosféry Titanu
- sledování počasí a větru
- tok energie
- charakteristika povrchu měsíce

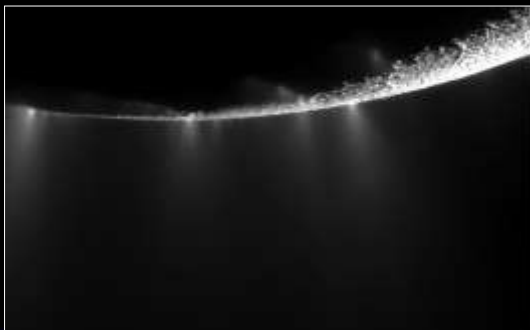


Bird et al. 2005



Enceladus

- snímky Voyager 2 a Cassini
- kryovulkanická aktivita v oblasti jižního pólu
- analogie pozemských gejzírů
- možná přítomnost podpovrchového oceánu



Všechny obrázky: NASA

Venuše

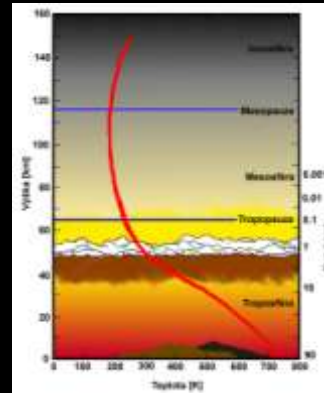
- vhodné podmínky ve výšce cca 50 km
- atmosféra v nerovnovážném stavu
- reakce lze vysvětlit přítomností mikroorganismů
- fotosyntetické organismy využívající síru jako donor
- chemoautotrofové
- možný primitivní cyklus síry



NASA



Venera 9/SSSR



Upraveno z www.fas.org

2005 - Venus Express

- studium atmosféry
- mapování povrchu



ESA

Sonda pro odběr vzorků (návrh 2002)

- průlet atmosférou a odběr částic, pravděpodobně pomocí balónů vznášejících se v atmosféře
- návrat vzorků na Zemi

Pátrání mimo Sluneční soustavu

- pouze dalekohledy

Na Zemi

- více jak 50 projektů... přehled na exoplanet.eu



ESO

Ve vesmíru

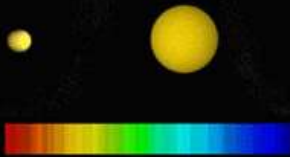
- EPOCh (CalTech)
- CoRoT (ESA)
- HST - astrometrie (NASA)
- Kepler (NASA)
- SST (NASA)



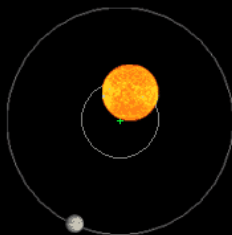
NASA

Metody detekce exoplanet - dynamické efekty

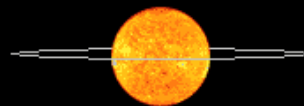
- změna radiální rychlosti



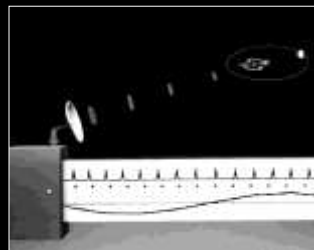
- poziční astrometrie



- zákryty a přechody planet



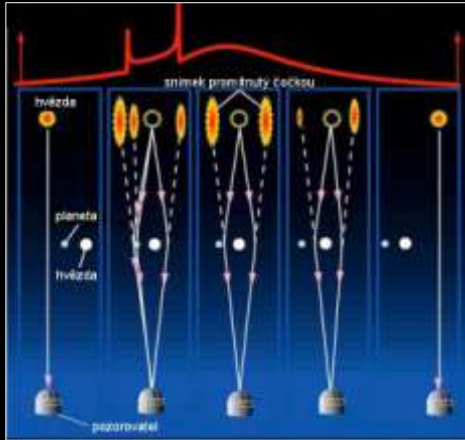
- měření pulsarů



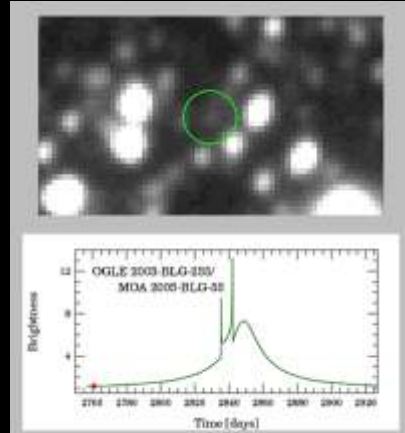
Animace a obrázek z astronomia.zcu.cz

Metody detekce exoplanet - mikročochky

- přechod hvězdy s planetou před pozorovaným objektem

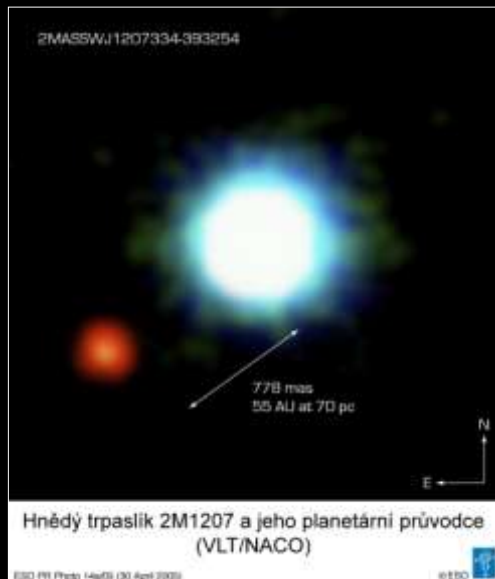


astronomia.zcu.cz



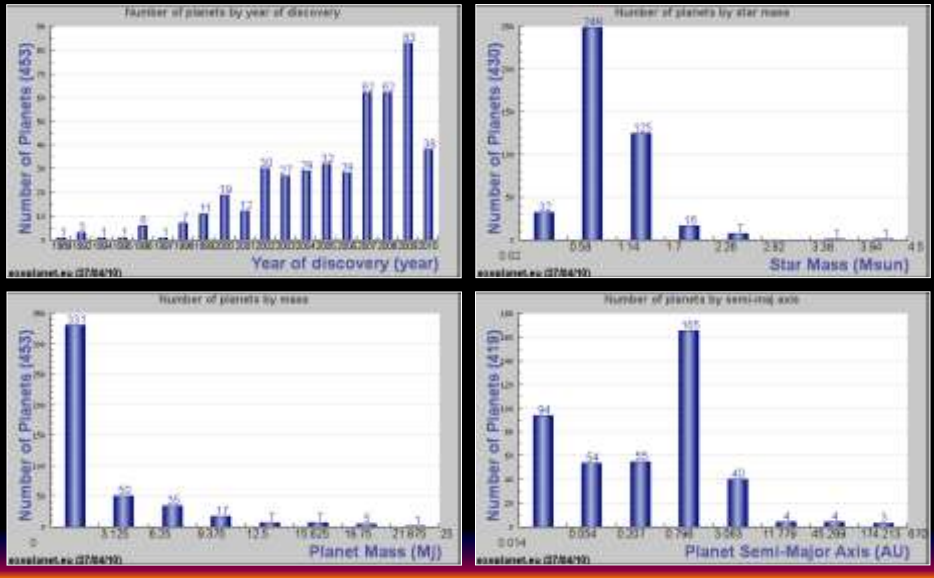
astronomia.zcu.cz

Metody detekce exoplanet - přímá detekce



- nevýhodné pro viditelnou část spektra, kdy je mateřská hvězda $10^9 \times$ jasnější než planeta
- vhodné pro infračervenou oblast, kdy je mateřská hvězda $10^7 \times$ jasnější než planeta

Aktuální stav (k 27.4.2010; exoplanet.eu) Celkem známo 453 extrasolárních planet



Detekce života na exoplanetě

- oběžná dráha v zóně obyvatelnosti
- přímé pozorování planety nezbytné
- infračervená oblast
- spektroskopické indikátory
 - složení atmosféry mimo termodynamickou rovnováhu, např. přítomnost redukovaných a oxidovaných biogenních plynů najednou
 - přítomnost O_2 či CH_4 ve vysokých koncentracích
 - přítomnost O_3 a H_2O
 - současný výskyt CO_2 , H_2O a O_3
- první předpokládané pozorování týkající se detekce života na exoplanetách při misi DARWIN (start 2013)

Děkuji za pozornost 😊

Jsou-li tam žáby taky?

