

# Život ve vesmíru pohledem vědy

Martin Ferus



Ústav fyzikální chemie  
J. Heyrovského



Akademie věd  
České republiky

ALH 84001

# Zodpovězení základní otázky: Proč jsme?

**Přednáška se snaží podat souhrn o vědeckých poznatcích a metodice v oblasti pátrání po možném výskytu života ve vesmíru.**

## **Osnova:**

- a) Definice života – co vlastně máme hledat?**
- b) Základní pilíře pátrání po života v kosmu.**
- c) Chemie života na Zemi a ve vesmíru.**
- d) Jaké mohou být podmínky pro život na cizích světech?**
- e) Inteligentní život mimo Zemi?**
- f) Budoucnost života na Zemi a jeho zánik.**
- g) Představy o životě mimo Zemi napříč historií.**

**Motto přednášky:**

**Věda je často pestřejší, než nejdivočejší fantazie.**

A

# Definice života

Život je entita, která vykazuje homeostázu, uspořádanost, látkovou výměnu, růst, adaptaci, reprodukci a schopnost reakce na vnější podmínky.

Podle NASA: „Samostatný chemický systém schopný Darwinistické evoluce.“



B

# Jak život objevit? Základní vědecké pilíře:

- a) Výzkum vzniku života (kde a jak život vzniká)
- b) Výzkum přežití života (kde a jak může ještě existovat)
- c) Technické prostředky (navázání spojení s inteligentním životem)
- d) Dálkový a in situ průzkum (poznání prostředí na vzdálených světech)

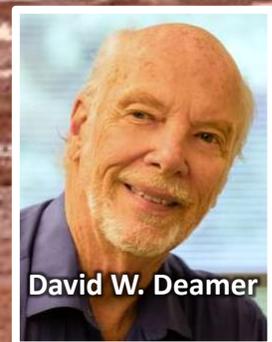


# Výzkum vzniku života

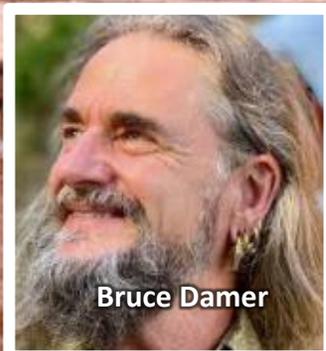
Poznání mechanismů vzniku života diskvalifikuje na první pohled vhodná prostředí, ve kterých ale život nemůže vzniknout.

- a) Laboratorní výzkum (procesy na detailní úrovni)
- b) Výzkum exoplanet (rané prostředí a jeho evoluce)
- c) Výzkum těles sluneční soustavy (fosilní nálezy)

➔ Limitováno stupněm poznání těchto procesů.



**Hot Spring Hypothesis**  
2020: Damer a Deamer



Bruce Damer

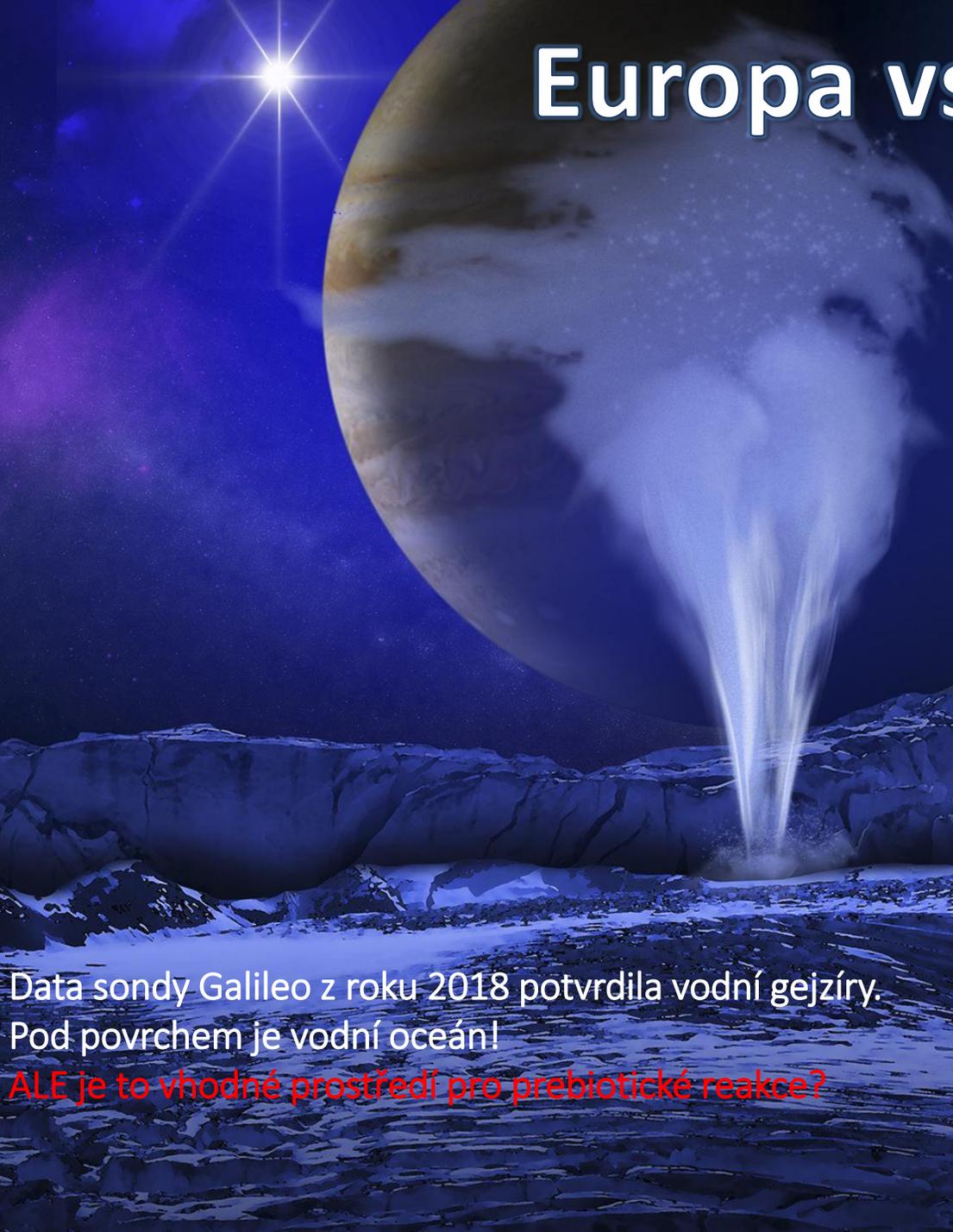


**Hydrothermal Vent Hypothesis**  
1981: Corliss – Barross - Hoffman



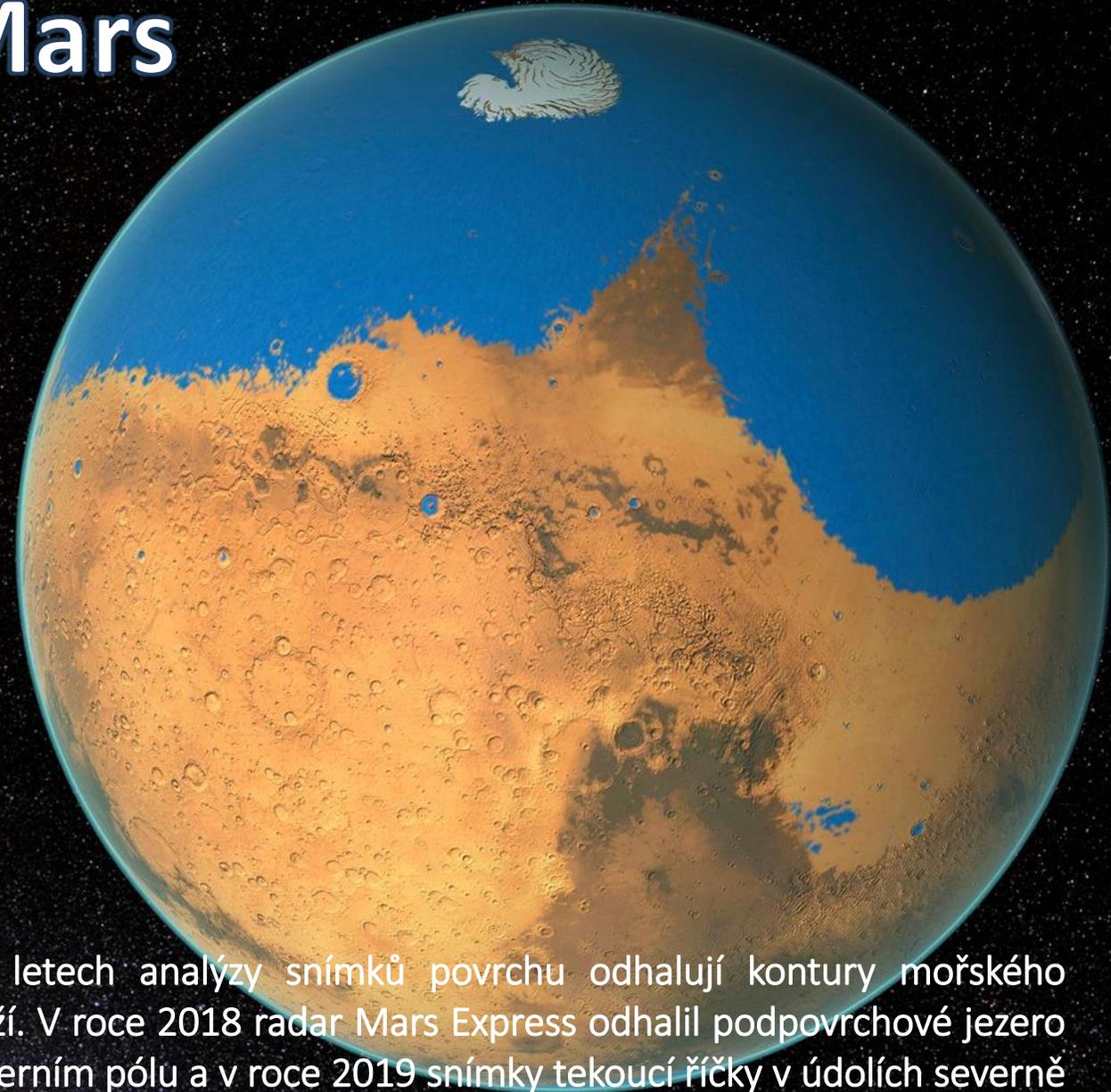
John B. Corliss

# Europa vs. Mars



Data sondy Galileo z roku 2018 potvrdila vodní gejzíry.  
Pod povrchem je vodní oceán!

**ALE je to vhodné prostředí pro prebiotické reakce?**



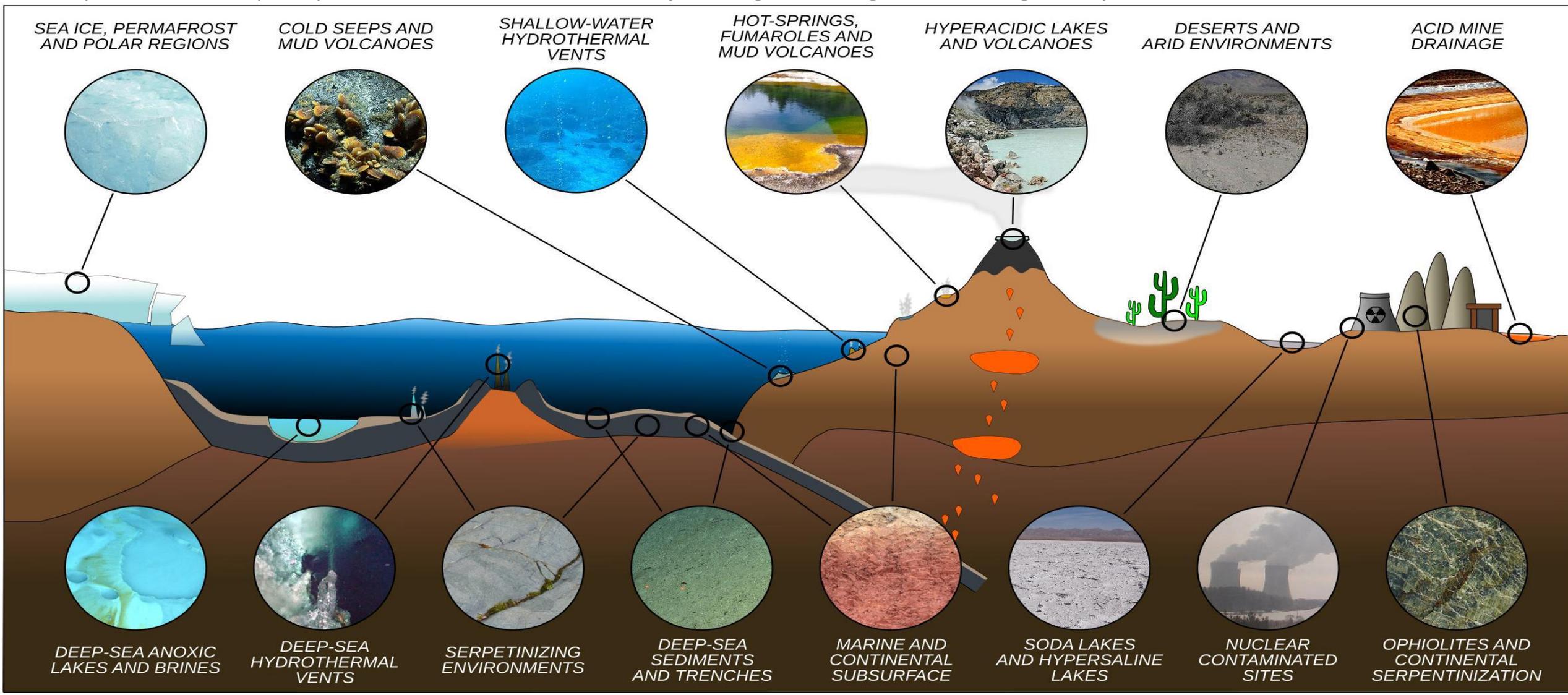
V 80. letech analýzy snímků povrchu odhalují kontury mořského pobřeží. V roce 2018 radar Mars Express odhalil podpovrchové jezero na severním pólu a v roce 2019 snímky tekoucí říčky v údolích severně od planiny Hellas.

**ALE nepotřebuje život hlubokomořské gejzíry a byly tyto na Marsu?**

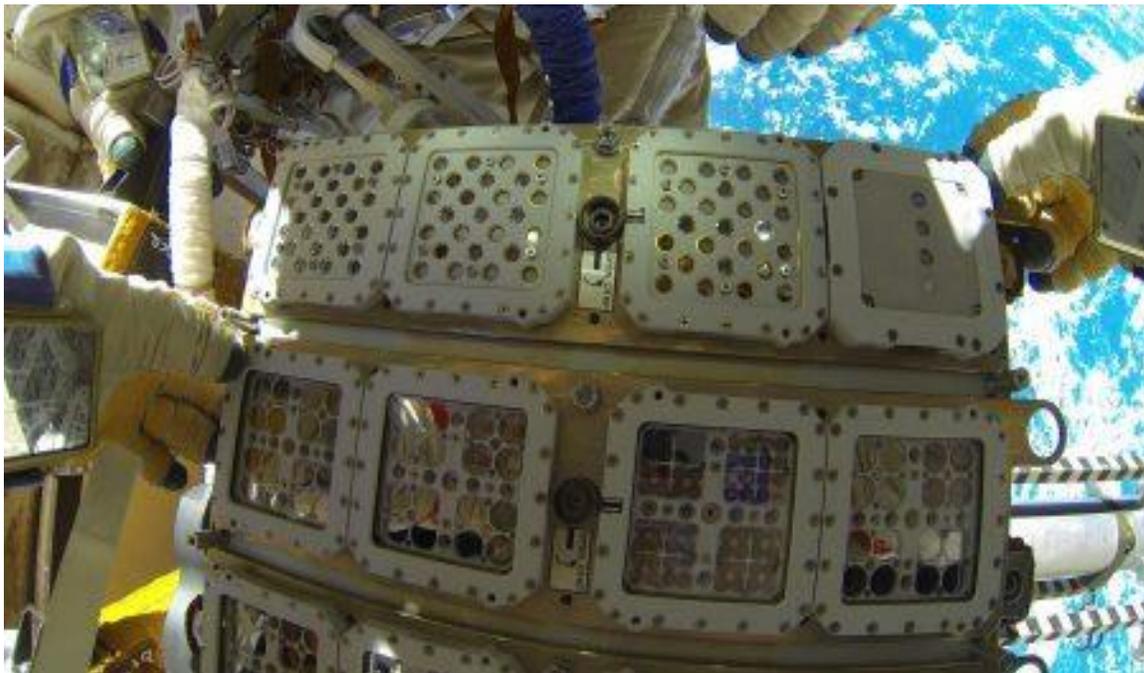
# Výzkum přežití života

Poznání limitů výskytu života diskvalifikuje nevhodná prostředí, ve kterých život může vzniknout, ale nepřežije či se nerozvine.

Limity v rozsazích teplot, pH, tlaků, záření, slanosti, zdrojů energie, mikrogravitace - organismy extrémofilní a extrémotolerantní.



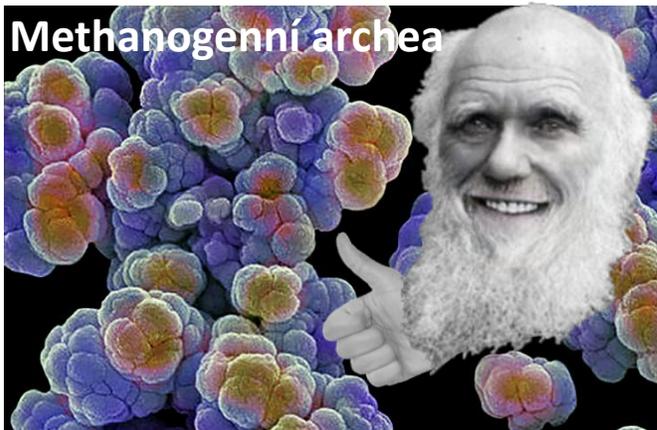
# Experiment BIOMEX na ISS



Některé z organismů a biomolekul vykazovaly obrovskou odolnost vůči záření ve vesmíru a skutečně se vrátily na Zemi jako trosečníci z vesmíru... Mimo jiné jsme studovali **archea**, což jsou jednobuněčné mikroorganismy, které existují na Zemi přes tři a půl miliardy let a žijí ve slané mořské vodě. Naše testovací subjekty jsou jejich příbuzní, kteří byli izolováni v arktickém permafrostu. Přežili ve vesmírných podmínkách a jsou také detekovatelné našimi přístroji. Takové jednobuněčné organismy by mohly být kandidáty na formy života, které lze najít na Marsu.



Jean-Pierre Paul de Vera



Methanogenní archaea

*Methanosarcina sp.*



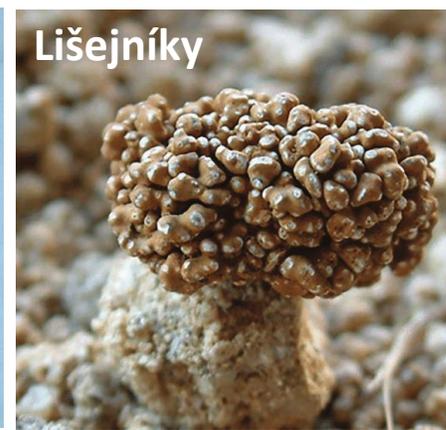
Baktérie

*Deinococcus radiodurans*



Řasy

*Sphaerocystis sp.*



Lišejníky

*Circinaria gyrosa*



Mechy

*Grimmia sessitana*

# 2020: Detekce fosfanu na Venuši

nature  
astronomy



ARTICLES

<https://doi.org/10.1038/s41550-020-1174-4>

## Phosphine gas in the cloud decks of Venus

Jane S. Greaves<sup>1,2</sup> ✉, Anita M. S. Richards<sup>3</sup>, William Bains<sup>4</sup>, Paul B. Rimmer<sup>5,6,7</sup>, Hideo Sagawa<sup>8</sup>, David L. Clements<sup>9</sup>, Sara Seager<sup>4,13,14</sup>, Janusz J. Petkowski<sup>4</sup>, Clara Sousa-Silva<sup>4</sup>, Sukrit Ranjan<sup>4</sup>, Emily Drabek-Maunder<sup>1,10</sup>, Helen J. Fraser<sup>11</sup>, Annabel Cartwright<sup>1</sup>, Ingo Mueller-Wodarg<sup>9</sup>, Zhuchang Zhan<sup>4</sup>, Per Friberg<sup>12</sup>, Iain Coulson<sup>12</sup>, E'lisa Lee<sup>12</sup> and Jim Hoge<sup>12</sup>

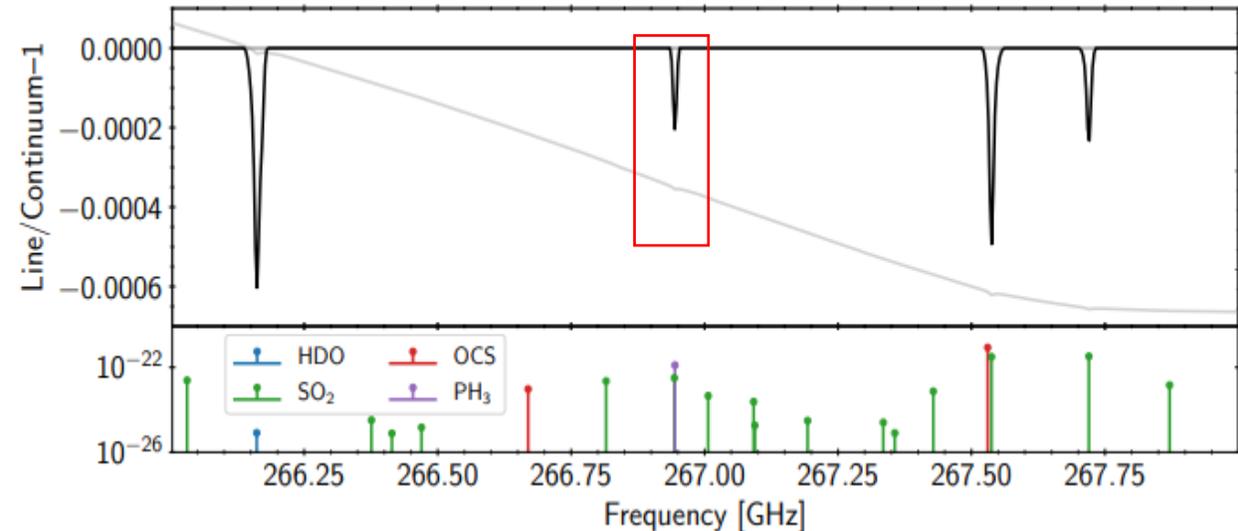
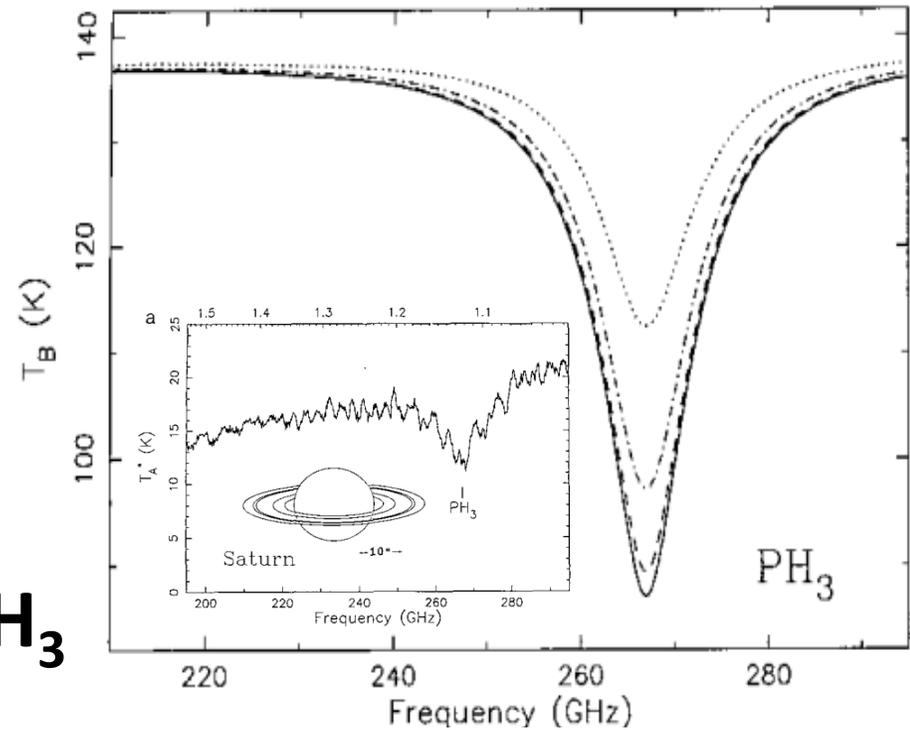


James Clerk Maxwell Telescope



Je to měření vůbec reálné?

### 20 ppb PH<sub>3</sub>



Mikrovlnná rotační čára fosfanu 1–0 na 1.123 mm

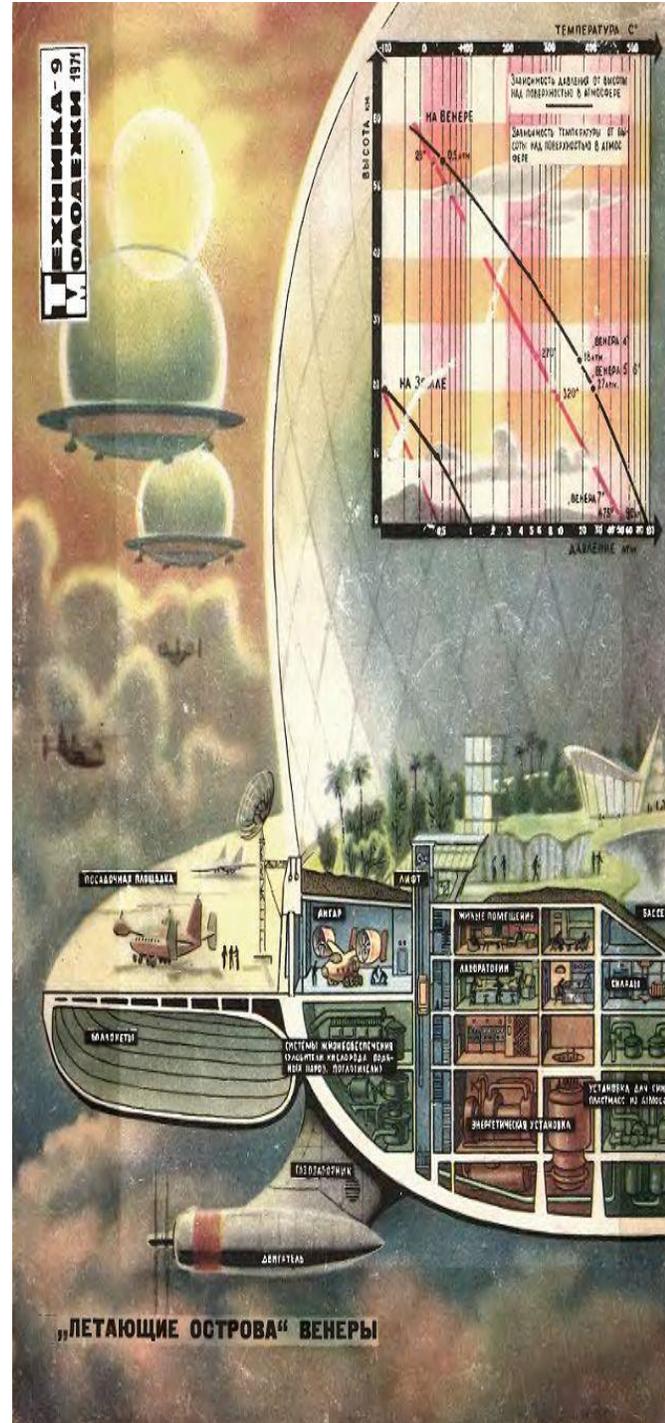
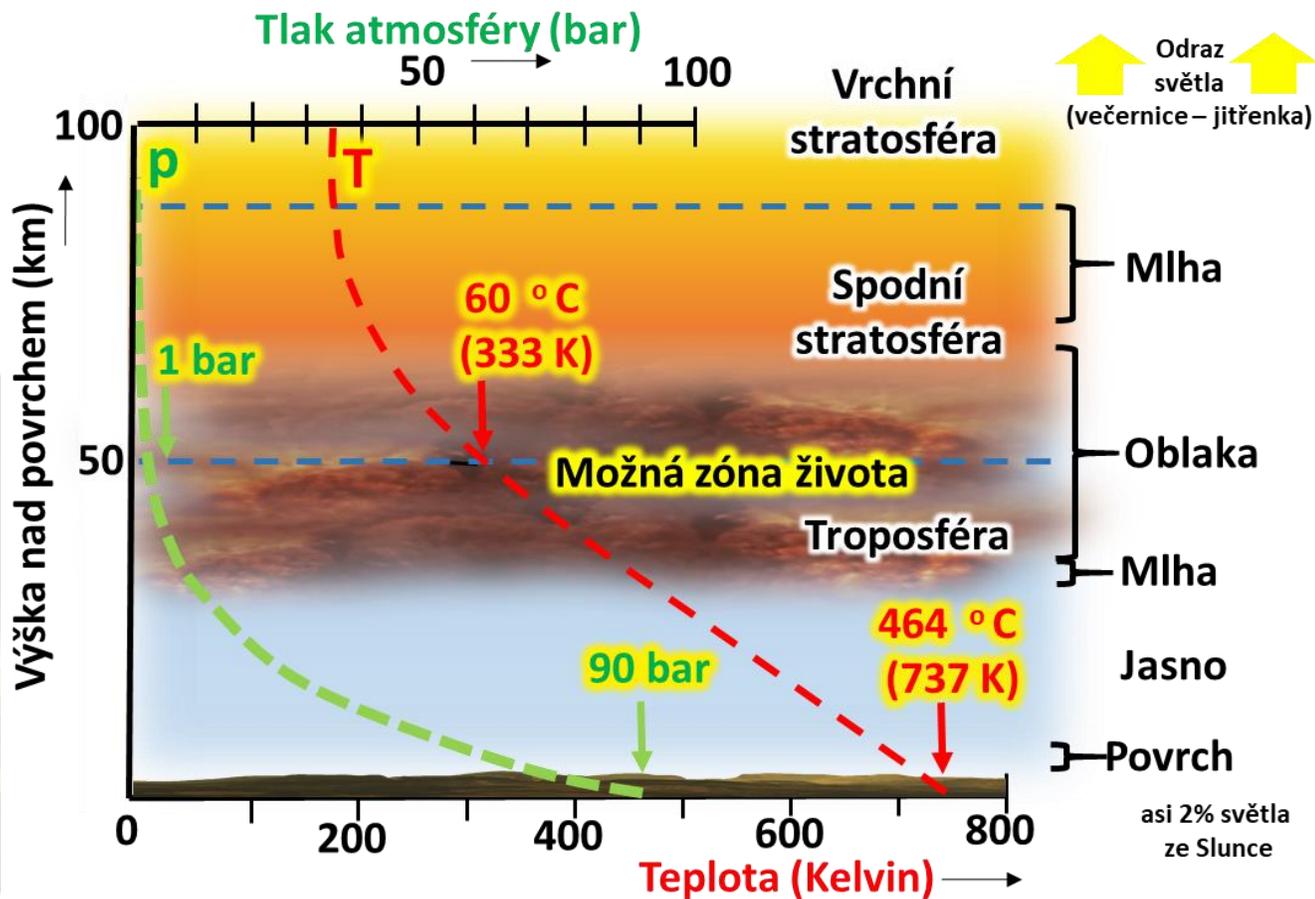
# O co jde?

Fosfan označen za signaturu života:

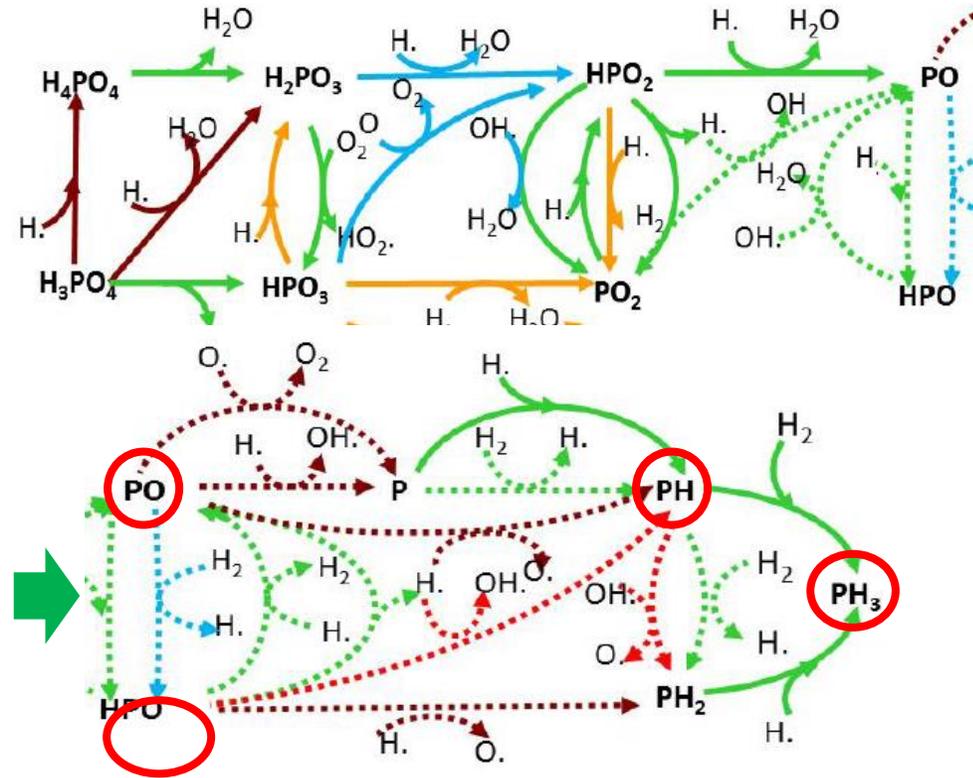


Clara Sousa Silva

- Může se akumulovat až na detekovatelné koncentrace.
- Má jednoznačné spektrální otisky, které jsou velmi silné.
- Nemá koincenci s žádnou molekulou poskytující falešně pozitivní výsledek.
- !!! Fosfan se v atmosféře Země fotolyzuje a jeho koncentrace má diurnální trend (0 ve dne, větší v noci).
- Původní hodnota 20 ppb nyní redukována na 9 ppb. Stále však není vysvětlená, a nebo ano?



# Český scénář: Umělá fotosyntéza



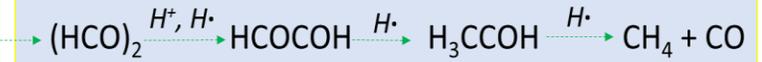
The transformation of P=O to PH or PH<sub>2</sub> is the main bottleneck of the network.

Bains et al.: *Astrobiology* 2021, Vol. 21, No. 10.

## A Formation of formyl radical



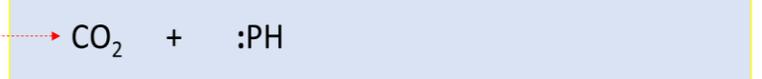
## B Synthesis of methane



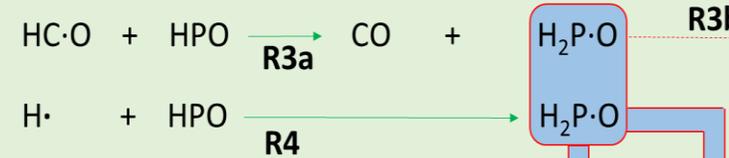
## C Formation of oxophosphine



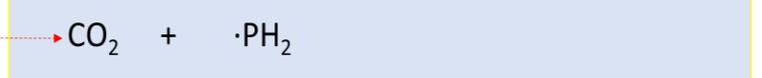
## D Release of phosphinidene radical



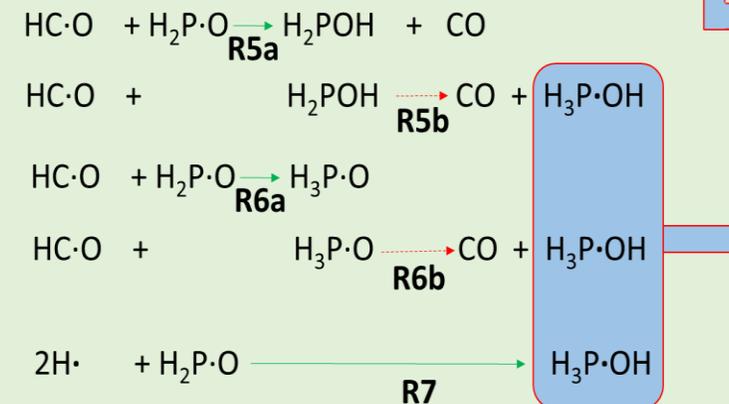
## E Formation of dihydrophosphoryl radical



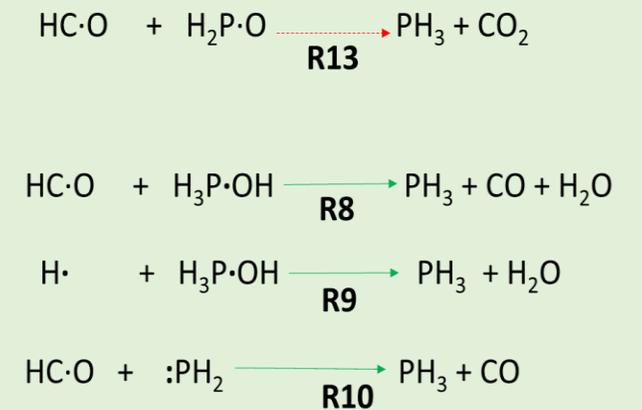
## F Release of phosphinyl radical



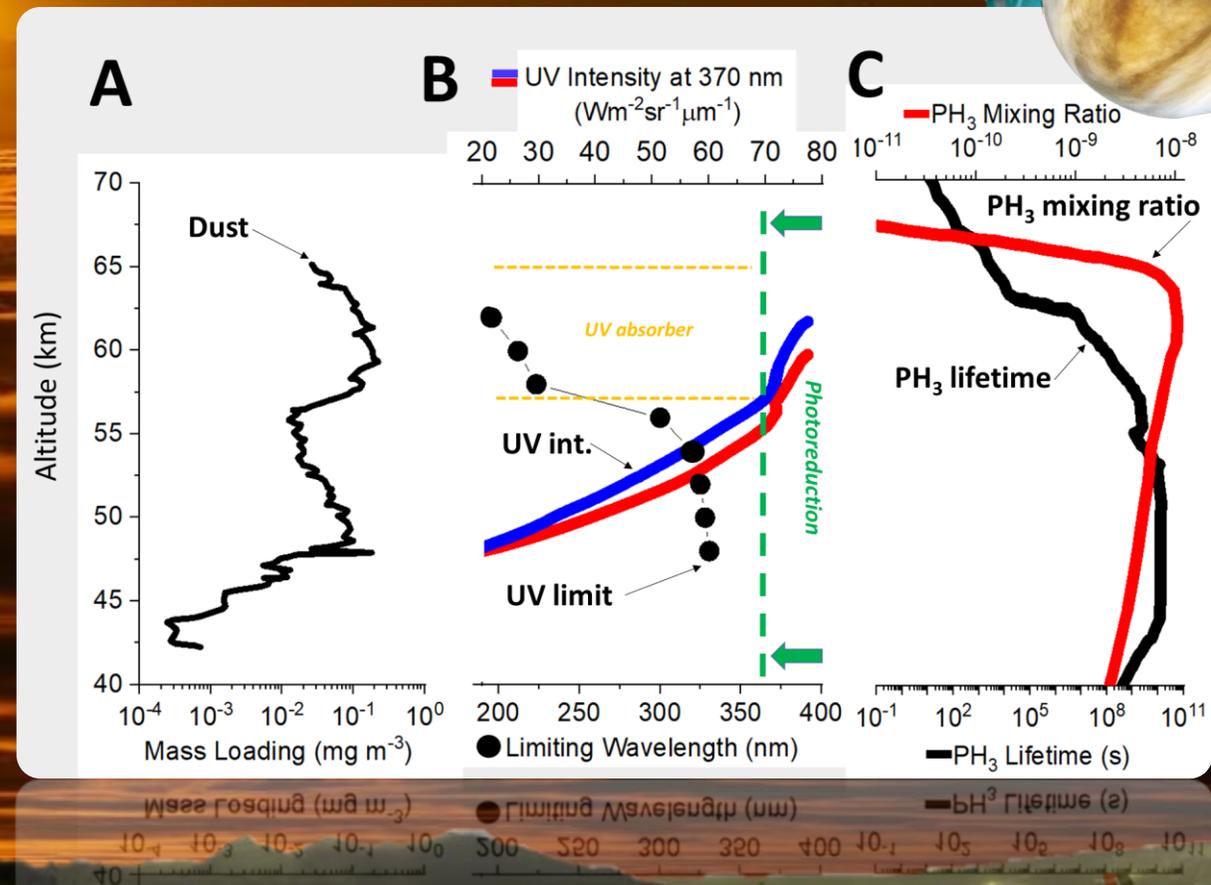
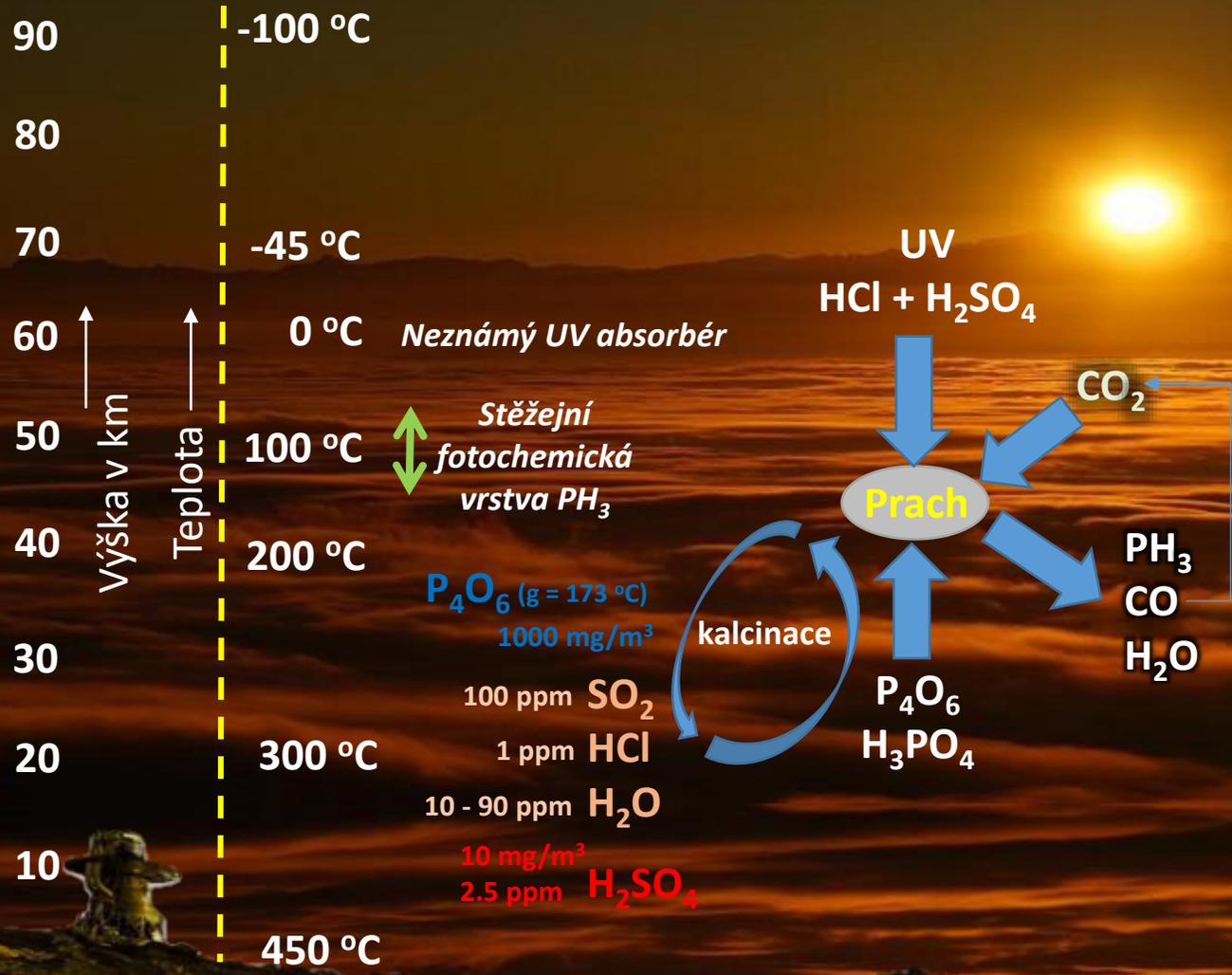
## G Formation of hydroxyphosphoranyl radical



## H Origin of phosphine



# Všechny podmínky splněny!



*V jednoduchosti (?) je krása...*

# Technické prostředky

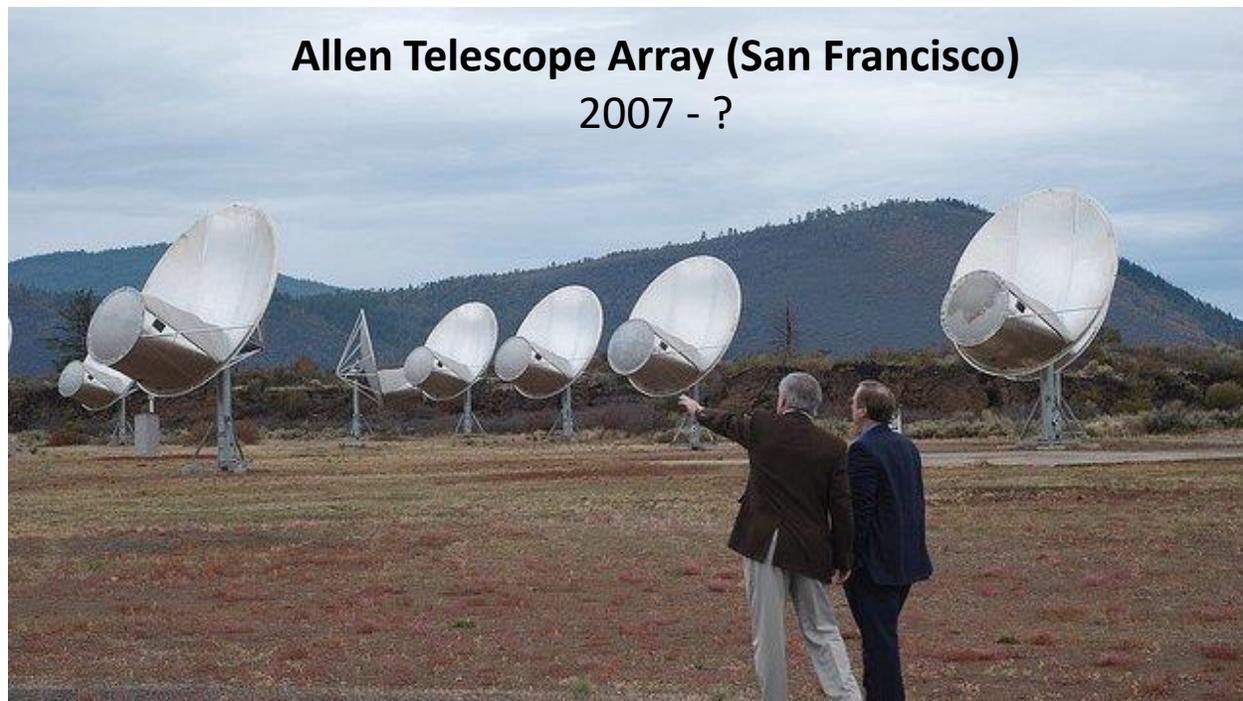
Bez jakéhokoliv dalšího zkoumání nám prostý vzkaz „Haló, tady jsme!“ poskytuje jednoznačný důkaz o životě ve vesmíru.

Poč. 20. stol: Charles Greeley Abbot – Venuše je sestra Země. **Spojíme se s Venušany rádiem!**

První vědecká studie v roce 1959: Nejlepším komunikačním prostředkem ve vesmíru jsou rádiové vlny.

V roce 1984 založen Institut SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence).

V letech 1995 - 2004 radioteleskopy programu SETI prozkoumáno na 750 hvězd v rozsahu 1 200 až 3 000 MHz – stále probíhá.



**Jak dlouho potenciální civilizace může (chce) komunikovat pomocí radiových vln?**



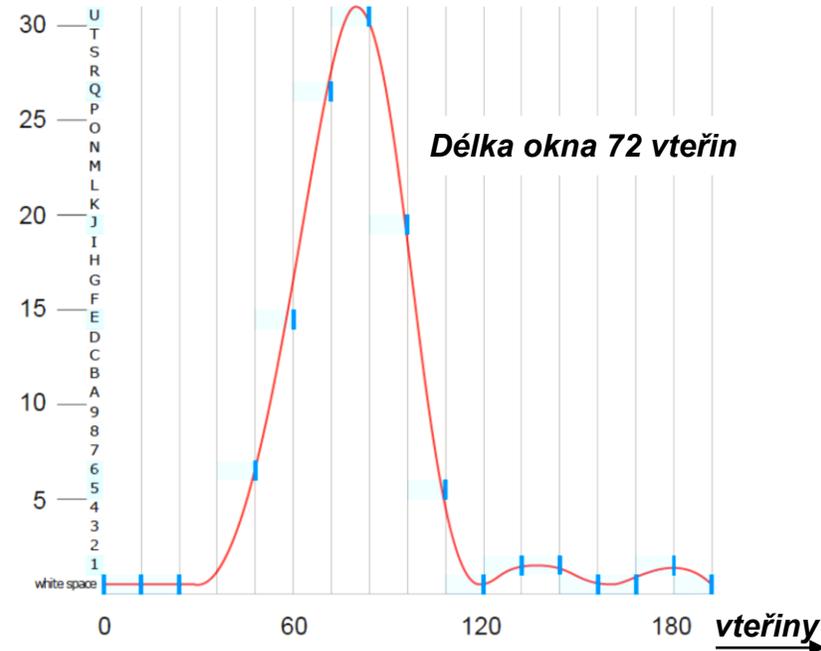
V roce 2019 byly využity dva čipy umístěné v laboratoři, které „komunikovaly“ prostřednictvím kvantově provázaných fotonů. Každý z čipů byl programován pro vykonání řady úloh, jež využívaly dané provázání.

15. 8. roku 1977:

# WOW signál

signál /  
šum

Kód  
6 E Q U J 5 1 1 1



1		2			1	4	3
1	16	1		1		1	
1	11	1		1		11	1
	1				3	1	
6	2				31		
1	24	3	12	1	21	1	
Q	1	16	1	2	1	1	1
U	31	1			3	7	1
2	J	31	3	11	1	11	1
5	1				1	1	
	14	1		113		2	11
1	3	1		1	1		
1	4		1	1	1	11	
	4	1	1	1	11	111	
	1			1		2	1
1	1	1			11	1	
			1			14	

Wow!



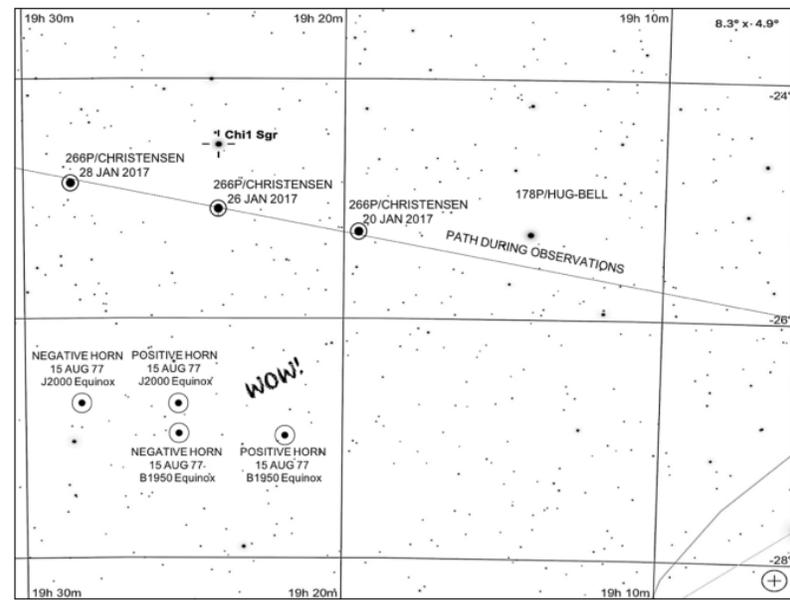
Jerry R. Ehman



Radioteleskop „Velké ucho“ Wesleyánská univerzita v Ohio

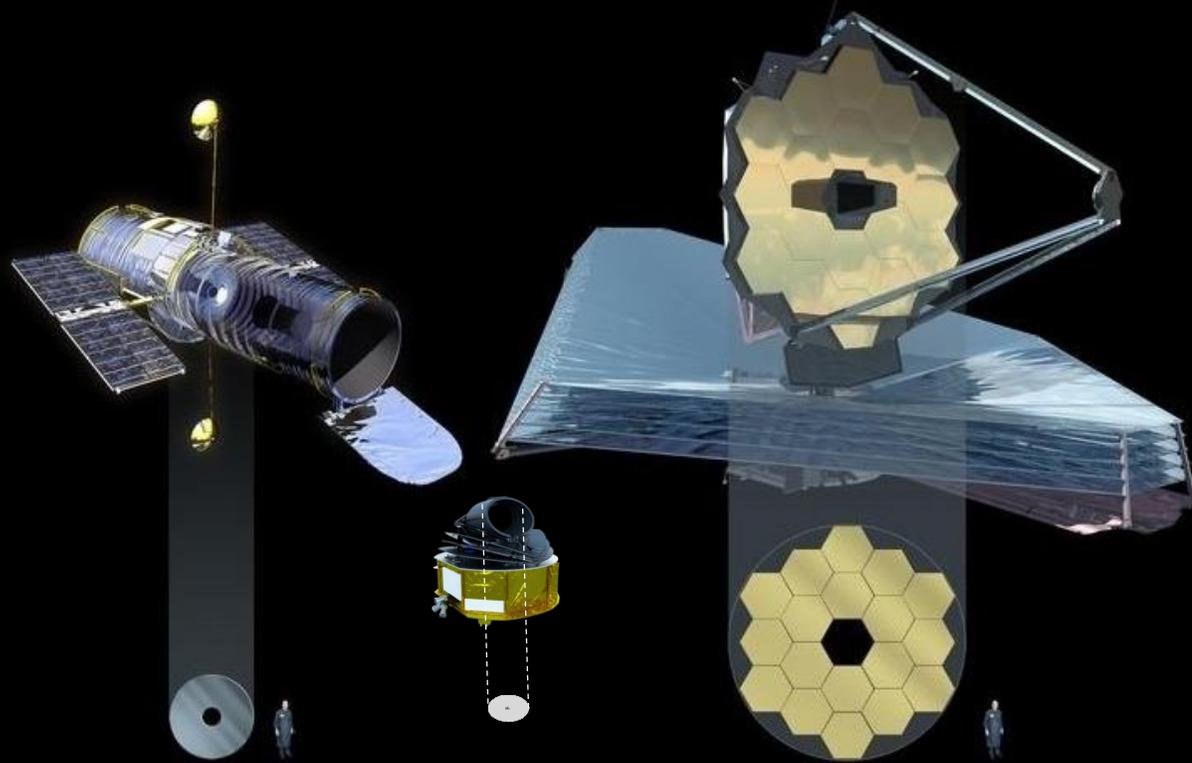


**Prof. Antonio Paris:** V roce 2017 pokus o vysvětlení signálu WOW emisí vodíkové obálky komet 266P/Christensen a P/2008 Y2 (Gibbs) na frekvenci 1420 MHz. Nalezena shoda v signálu pozorovaném pro kometu 266/P pomocí desetimetrového radioteleskopu Site-B a signálu WOW.



# Dálkový průzkum

Spektra mohou odhalit, že prostředí na planetách je pozemské. Je možné detekovat chemikálie související biosférou.



**Hubble  
Space  
Telescope**

2,4 m  
115 nm  $\mu\text{m}$  – 1  $\mu\text{m}$

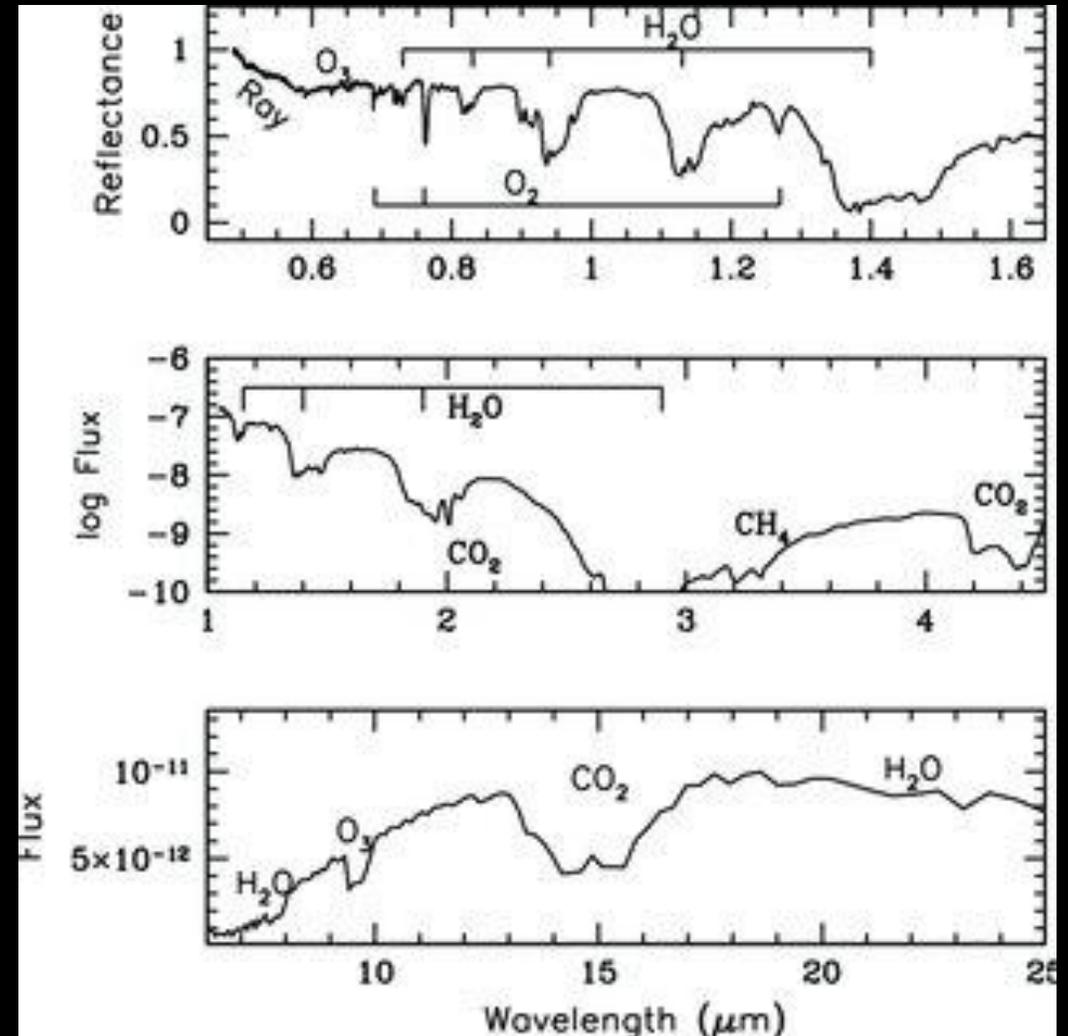
**Ariel  
Space  
Telescope**

1,1 x 0,9 m  
1,95  $\mu\text{m}$  – 7,8  $\mu\text{m}$

**James Webb  
Space  
Telescope**

6,5 m  
600 nm – 5  $\mu\text{m}$

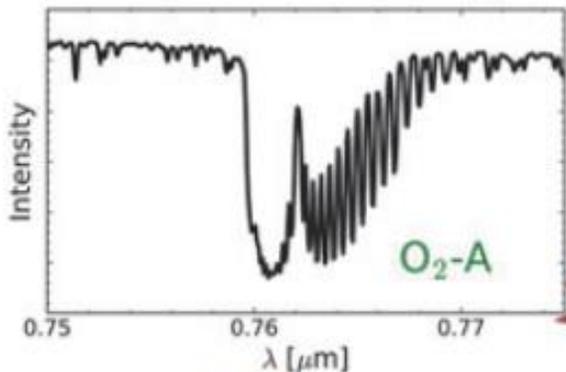
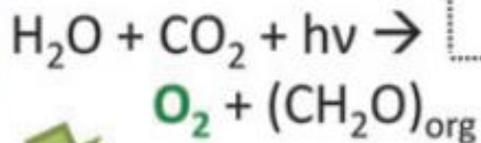
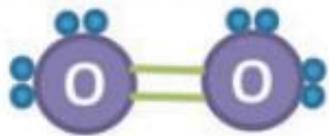
## Země jako exoplaneta



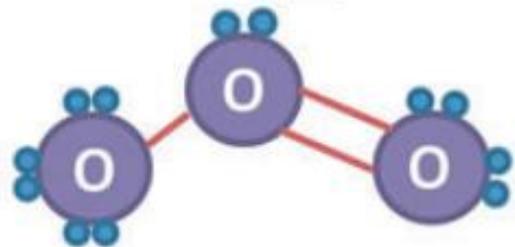
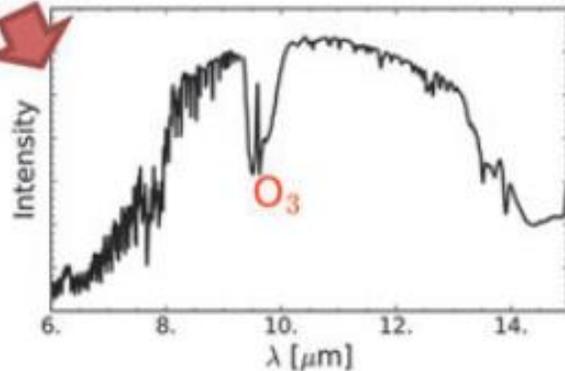
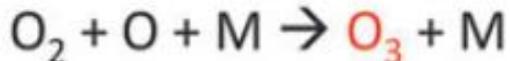
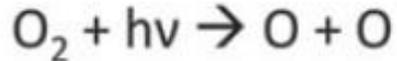
# Jak zachytit život dalekohledem?

## Plynné markery

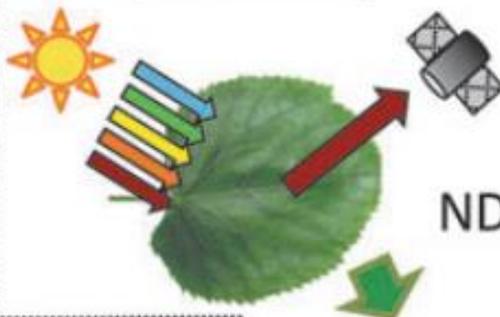
Kyslík – produkt fotosyntézy



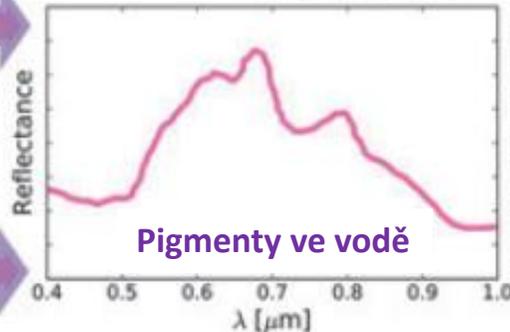
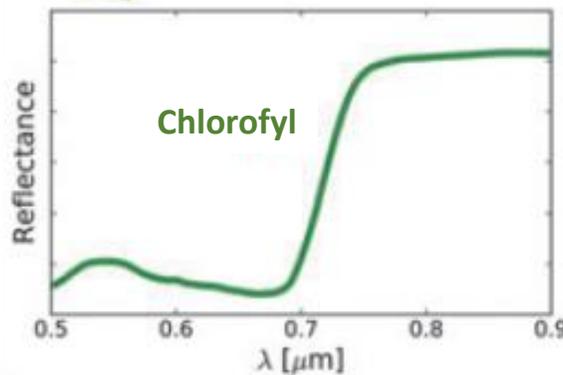
Ozón – produkt fotolýzy



## Markery na povrchu



$$\text{NDVI} = \frac{\text{IR} - \text{VIS}}{\text{IR} + \text{VIS}}$$



## Časová variabilita

Sezónní změny koncentrace



Střídání v zastoupení plynů či charakteristik povrchu



# Průzkum in situ

Fotografie a chemická analýza na místě mohou odhalit přítomnost či pozůstatky života.

Časové a technologické možnosti současné vědy umožňují in situ průzkum pouze v případě objektů sluneční soustavy.

Cesta k Proximě Centauri B by trvala až 80 000 let dnešní běžné družici a teoreticky 1000 let v případě použití nukleárního pohonu.

Signál by se vrátil za 4.22 let.

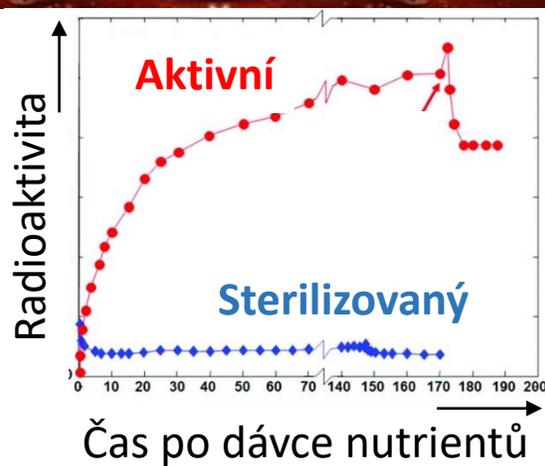
**Vikingy 1 a 2** přistály v roce 1976 na Marsu:

**GC-MS** pro měření organických látek

**GasExchangeExperiment** pro detekci kyslíku, oxidu uhličitého, dusíku, vodíku a methanu v intertní atmosféře v pokusné cele

**LabeledRelease** experiment s nutrienty značenými  $^{14}\text{C}$  (mravenčan sodný, mléčnan sodný, glycin, alanin, glukonát vápenatý – z Millerova experimentu).

Detekce  $^{14}\text{CO}$  a  $^{14}\text{CO}_2$ .



# Chemie života

Může být entita vykazující znaky života založena na různých chemických systémech?

Problémy s jednoznačnou odpovědí:

- a) Geocentrický problém: Život mimo Zemi nebyl dosud ve vesmíru objeven. Nemáme statistická data!
- b) Evoluční problém: Výsledkem evoluce života na Zemi je jeho chemická uniformita. Je to jediný možný výsledek?
- c) Syntetický problém: Život ve zkumavce: „Co nemohu stvořit, to nepochopím.“ (Richard Feynman). Může uměle vyrobený život vzniknout také přírodní cestou? (Svět strojů, laboratorní syntéza nukleových bází, nanorobotické systémy). Chemické limity života může pomoci probádat syntetická biologie.



Eduard Kejnovský



Judit Šponer

Východ červeného trpaslíka na planetě Kepler-1649c (ESI = 0.9)



Klára Hloučová

# Prvky pro život na Zemi

Pozemský život využívá řadu prvků, ale jen omezený počet má základní (strukturní) funkci.

## Rozsáhlá nutriční tabulka prvků – co limituje život?

<b>H</b> Základní																	He	
<b>Li</b> <b>Be</b>	Deprivační										<b>B</b> <b>C</b> <b>N</b> <b>O</b> <b>F</b>	Ne						
Omezená deprivace																		
<b>Na</b> <b>Mg</b>	Velmi zastoupené										<b>Al</b> <b>Si</b> <b>P</b> <b>S</b> <b>Cl</b>	Ar						
Esenciální																		
<b>K</b> <b>Ca</b>	Sc	Ti	<b>V</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	Ga	<b>Ge</b>	<b>As</b>	<b>Se</b>	<b>Br</b>	Kr		
<b>Rb</b> <b>Sr</b>	Y	Zr	Nb	<b>Mo</b>	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	<b>Cd</b>	In	<b>Sn</b>	<b>Sb</b>	<b>Te</b>	<b>I</b>	Xe		
Cs	Ba	*	Lu	Hf	Ta	<b>W</b>	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	<b>Pb</b>	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	**	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og

Podezření na esenciální roli u nižších organismů

\* La Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb

\*\* Ac Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No

H

909 964 ppm

C

3032 ppm

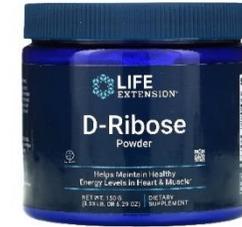
O

9592 ppm

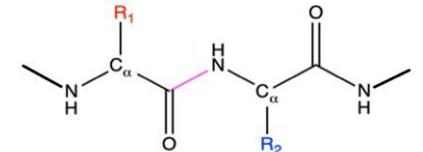
N

9592 ppm

## Cukry



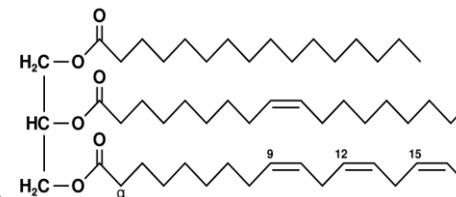
## Aminokyseliny



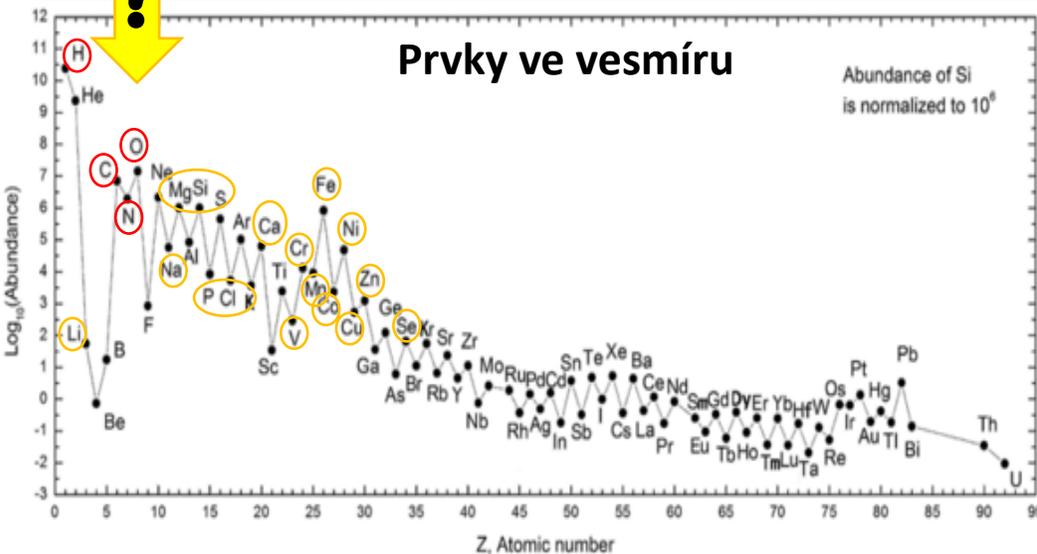
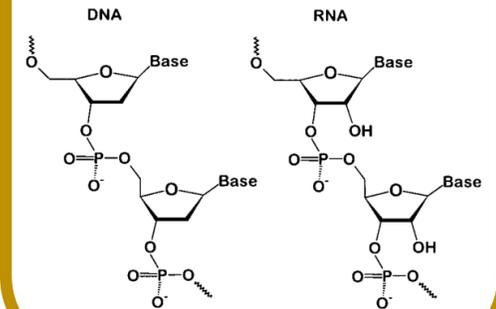
## Tuky

### Triacylglyceroly

Stearová  
Olejová  
Palmitová



## Nukleové kyseliny

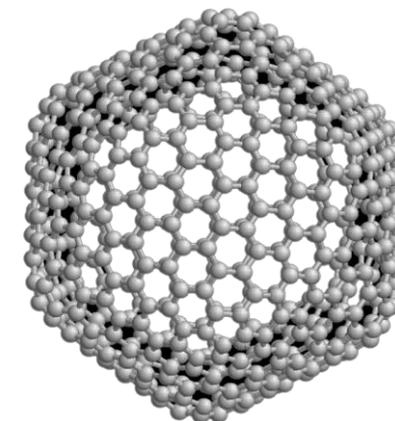
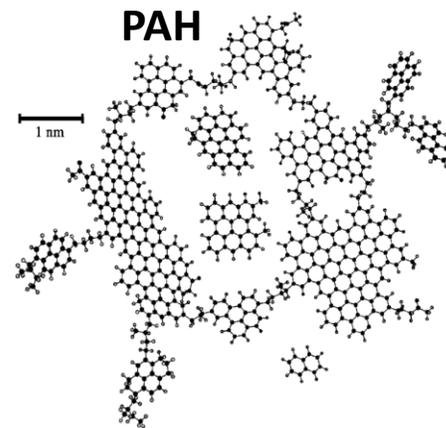


# Králové kosmické chemie

Mezi víceatomárními látkami detekovanými v kosmu dominují sloučeniny uhlíku!

2 Atoms		3 Atoms		4 Atoms		5 Atoms		6 Atoms		7 Atoms		8 Atoms		9 Atoms		10 Atoms	
CH	CP	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>	HC <sub>3</sub> N	CH <sub>3</sub> OH	CH <sub>3</sub> CHO	HCOOCH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO							
CN	NH	HCO <sup>+</sup>	MgCN	H <sub>2</sub> CO	HCOOH	CH <sub>3</sub> CN	CH <sub>3</sub> CCH	CH <sub>3</sub> C <sub>3</sub> N	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	HO(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> OH							
CH <sup>+</sup>	SiN	HCN	H <sup>3+</sup>	HNCO	CH <sub>2</sub> NH	NH <sub>2</sub> CHO	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	C <sub>7</sub> H	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CN	CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO							
OH	SO <sup>+</sup>	OCS	SiCN	H <sub>2</sub> CS	NH <sub>2</sub> CN	CH <sub>3</sub> SH	CH <sub>2</sub> CHCN	CH <sub>3</sub> COOH	HC <sub>7</sub> N	CH <sub>3</sub> C <sub>5</sub> N							
CO	CO <sup>+</sup>	HNC	AlNC	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> CCO	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	HC <sub>5</sub> N	H <sub>2</sub> C <sub>6</sub>	CH <sub>3</sub> C <sub>4</sub> H	CH <sub>3</sub> CHCH <sub>2</sub> O							
H <sub>2</sub>	HF	H <sub>2</sub> S	SiNC	C <sub>3</sub> N	C <sub>4</sub> H	C <sub>5</sub> H	C <sub>6</sub> H	CH <sub>2</sub> OHCHO	C <sub>8</sub> H	CH <sub>3</sub> OCH <sub>2</sub> OH							
SiO	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> H <sup>+</sup>	HCP	HNCS	SiH <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> NC	c-C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	HC <sub>6</sub> H	CH <sub>3</sub> CONH <sub>2</sub>								
CS	CF <sup>+</sup>	C <sub>2</sub> H	CCP	HOCO <sup>+</sup>	c-C <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	HC <sub>2</sub> CHO	CH <sub>2</sub> CHOH	CH <sub>2</sub> CCHCN	CH <sub>2</sub> CHCH <sub>3</sub>								
SO	PO	SO <sub>2</sub>	AlOH	C <sub>3</sub> O	CH <sub>2</sub> CN	H <sub>2</sub> C <sub>6</sub>	C <sub>6</sub> H <sup>-</sup>	NH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CN	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> SH								
SiS	O <sub>2</sub>	HCO	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	I-C <sub>3</sub> H	C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub> S	CH <sub>3</sub> NCO	CH <sub>3</sub> CHNH	HC <sub>7</sub> O								
NS	AlO	HNO	H <sub>2</sub> Cl <sup>+</sup>	HCNH <sup>+</sup>	SiC <sub>4</sub>	HC <sub>3</sub> NH <sup>+</sup>	HC <sub>5</sub> O	CH <sub>3</sub> SiH <sub>3</sub>									
C <sub>2</sub>	CN <sup>-</sup>	HCS <sup>+</sup>	KCN	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> CCC	C <sub>5</sub> N											
NO	OH <sup>+</sup>	HOC <sup>+</sup>	FeCN	C <sub>3</sub> S	CH <sub>4</sub>	HC <sub>4</sub> H											
HCl	SH <sup>+</sup>	SiC <sub>2</sub>	HO <sub>2</sub>	c-C <sub>3</sub> H	HCCNC	HC <sub>4</sub> N											
NaCl	HCl <sup>+</sup>	C <sub>2</sub> S	TiO <sub>2</sub>	HC <sub>2</sub> N	HNCCC	c-H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> O											
AlCl	SH	C <sub>3</sub>	CCN	H <sub>2</sub> CN	H <sub>2</sub> COH <sup>+</sup>	CH <sub>2</sub> CNH											
KCl	TiO	CO <sub>2</sub>	SiCSi	SiC <sub>3</sub>	SiC <sub>4</sub> <sup>-</sup>	C <sub>5</sub> N <sup>-</sup>											
AlF	ArH <sup>+</sup>	CH <sub>2</sub>	S <sub>2</sub> H	CH <sub>3</sub>	CNCHO	HNCHCN											
PN	NS <sup>+</sup>	C <sub>2</sub> O	HCS	C <sub>3</sub> N <sup>-</sup>	HNCNH	SiH <sub>3</sub> CN											
SiC		MgNC	HSC	PH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> O												
		NH <sub>2</sub>	NCO	HCNO	NH <sub>3</sub> D <sup>+</sup>												
		NaCN		HOCN	H <sub>2</sub> NCO <sup>+</sup>												
				HSCN	NCCNH <sup>+</sup>												
				HOOH	CH <sub>3</sub> Cl												
				I-C <sub>3</sub> H <sup>+</sup>													
				HMgNC													
				HCCO													
				CNCN													

12 Atoms	13 Atoms	Fullerenes
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	c-C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CN	C <sub>60</sub>
n-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> CN		C <sub>60</sub> <sup>+</sup>
i-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> CN		C <sub>70</sub>



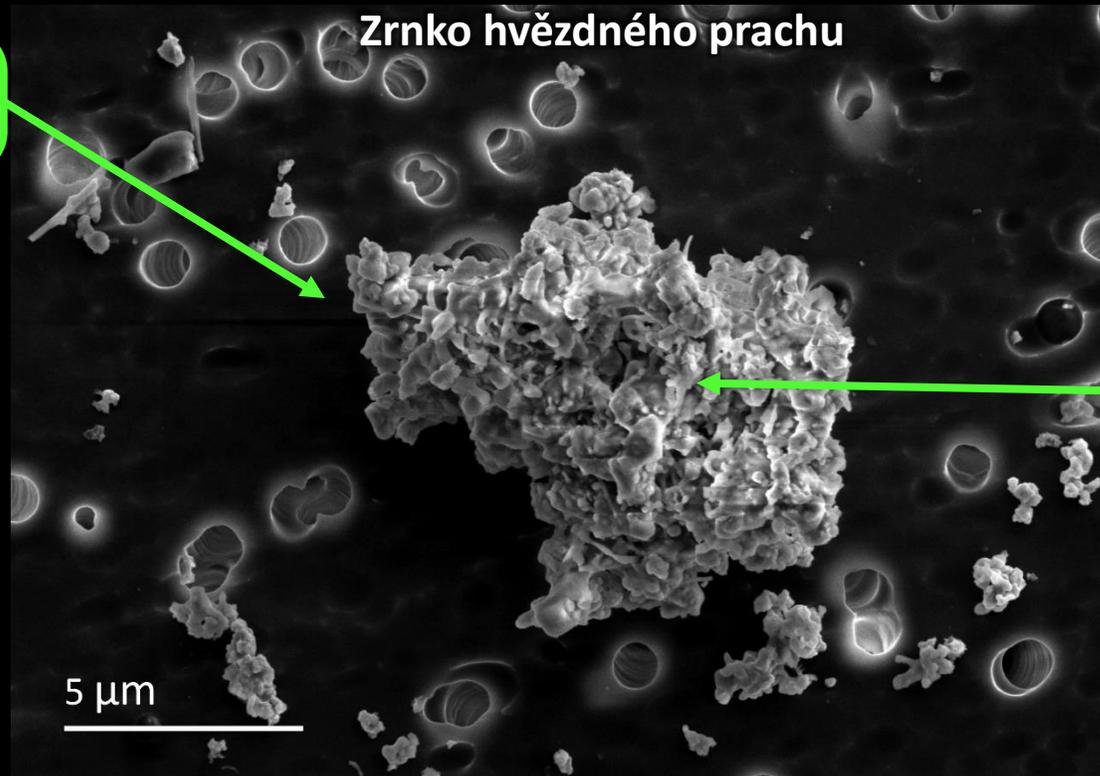
## Primitivní chondrity:

uracil, xanthin, adenin, guanin, purin, glycerol, serin, glycin, alanin, valin, leucin

# Stavební cihla planet (a života)

## Molekulární ledy a složitější organické látky

Kosmická chemie determinuje široké zastoupení sloučenin uhlíku a křemíku. Zatímco uhlík se ochotně sloučí s vodíkem a kyslíkem za tvorby  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  a organických sloučenin (ledy), křemík se slučuje s kyslíkem za tvorby silikátů (jádra, povrchy). Voda je všudypřítomná.

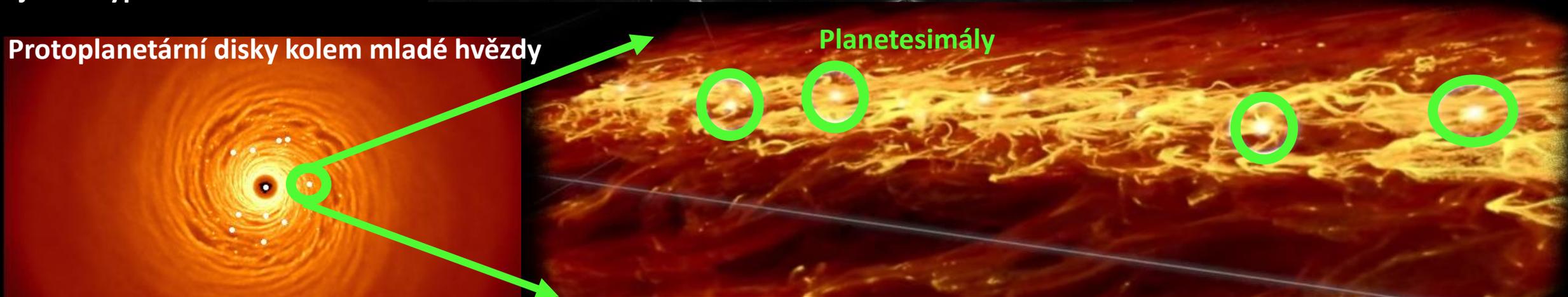


## Pevné minerální jádro:

Diamant  
Grafit  
Rutil ( $\text{TiO}_2$ )  
Korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )  
Spinel ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ )  
Hibonit ( $(\text{Ca,Ce})(\text{Al,Ti,Mg})_{12}\text{O}_{19}$ )  
Moissanit ( $\text{SiC}$ )  
Osbornit  
Nitrid křemíku ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )  
Forsterit ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ )  
Perovskit ( $\text{MgSiO}_3$ )

*Tzv. prenebulární minerály*

Protoplanetární disky kolem mladé hvězdy



Planetesimály

# Alternativní chemie života?

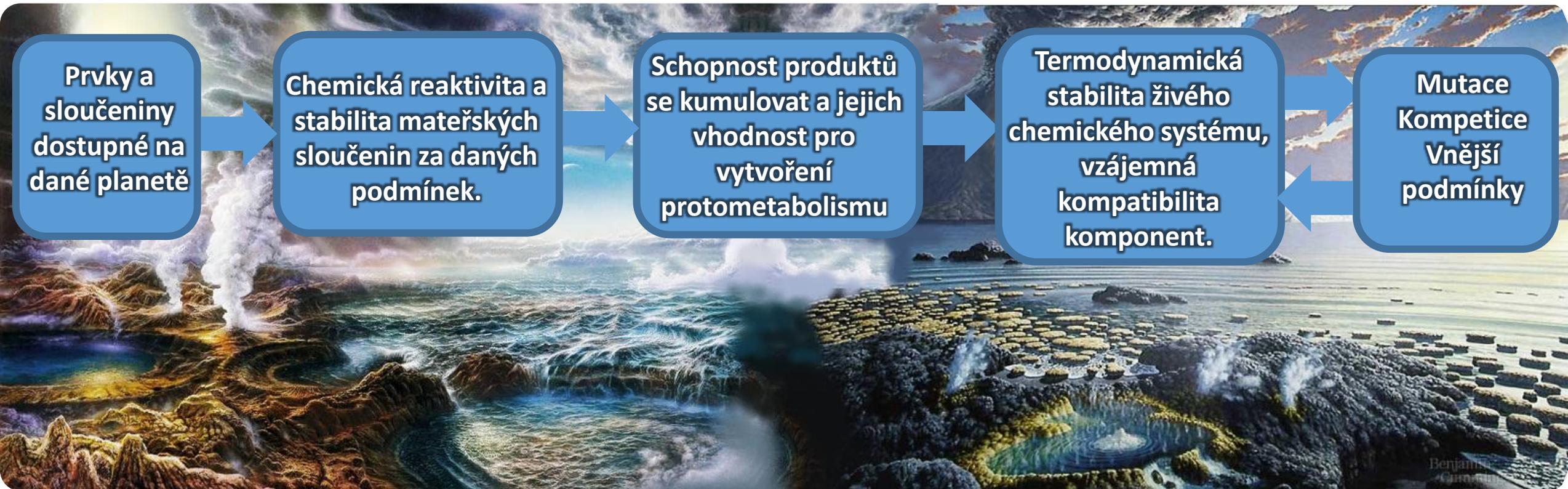


**Konzervativní přístup:** Je možné nahradit jednu látku jinou, chemicky podobnou látkou?

**Progresivní přístup:** Je možné postavit život na zcela jiné chemii?

**Případ Země – Život je chemicky uniformní - Molekulární Darwinismus:**

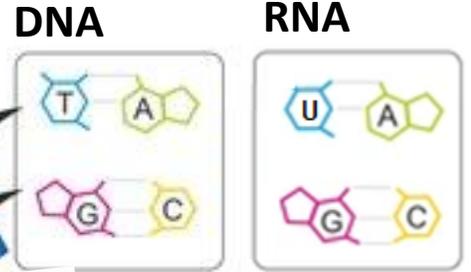
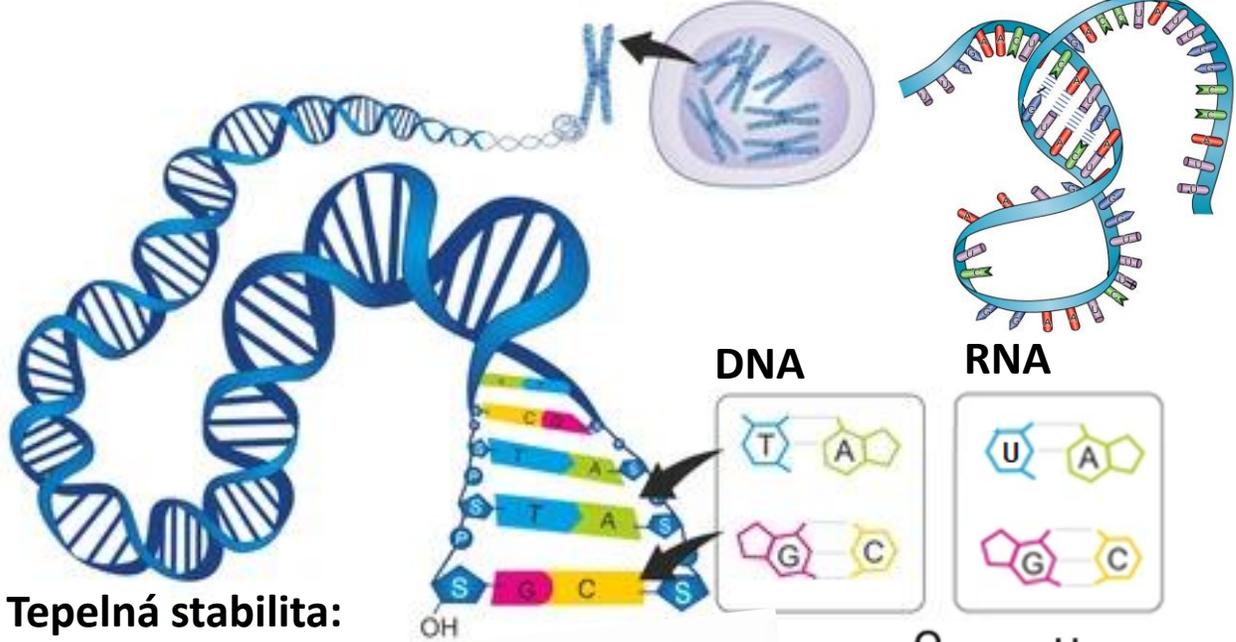
- Přežije jen stabilní chemický systém.
- Přírodní výběr vede k zachování jedné varianty.



# „Nekanonické“ nukleové báze

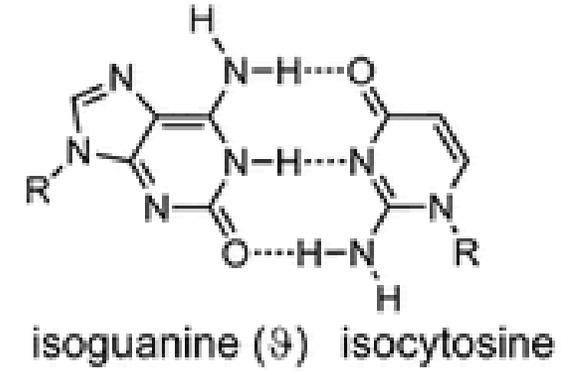
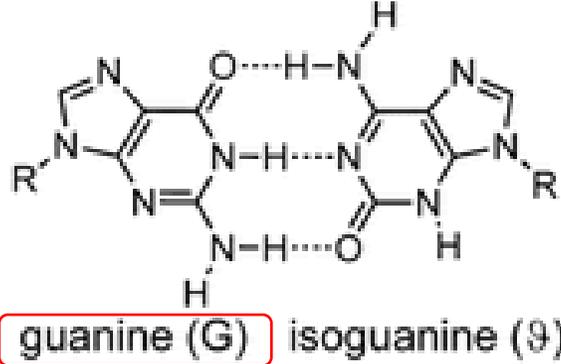
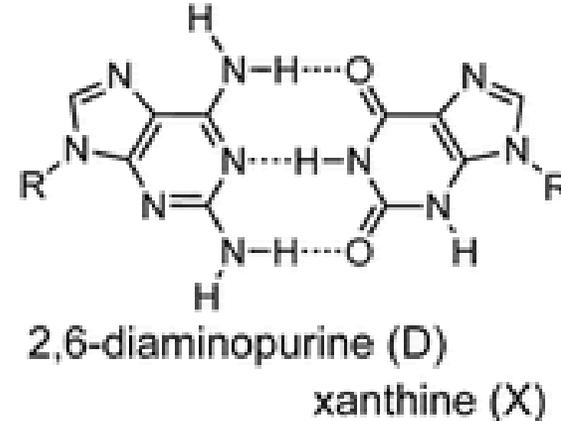
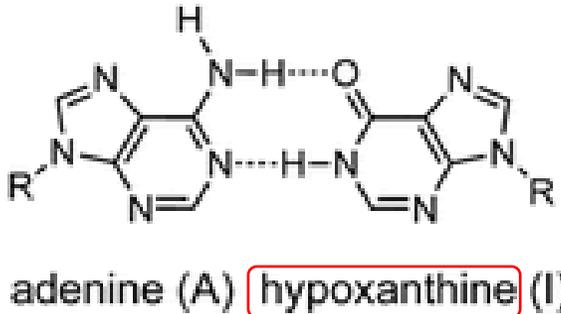
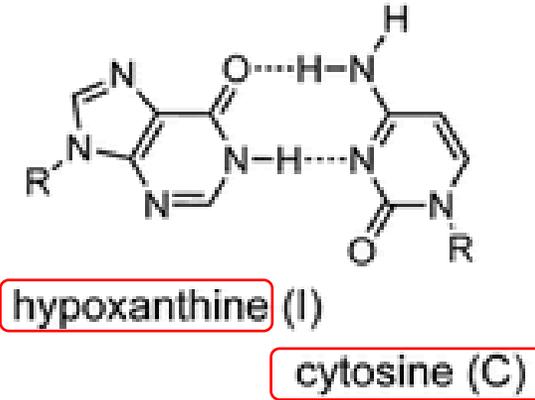
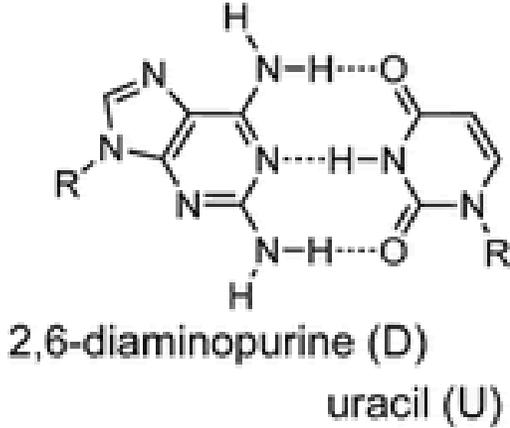
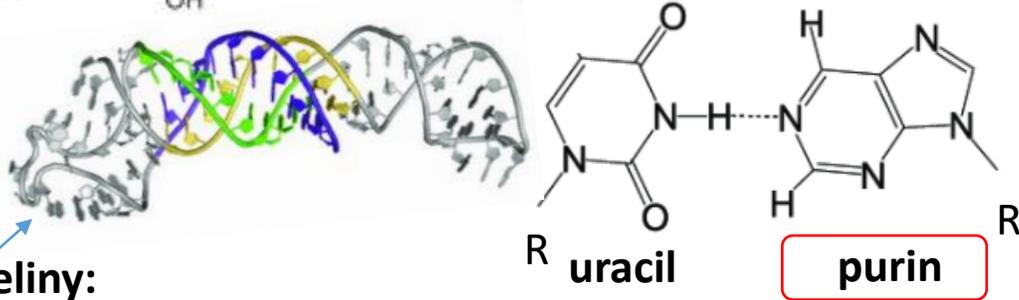
Kanonický genetický kód je nazýván „Energetickým kódem.“

Bylo rozpoznáno cca 82 alternativních párů bází nukleových kyselin.  
Na Zemi fungují pouze thymin (uracil), adenin, guanin, cytosin:



**Tepelná stabilita:**  
A, G...1 rok  
U...12 let  
C...19 dní

**Nekanonické nukleové kyseliny:**

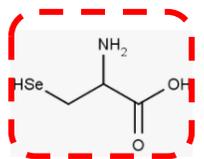


- a) Evoluce – rané organismy měly možná jiný (chudší?) genetický kód
- b) Byly zkoumány syntetické genetické kódy (Xeno nukleové kyseliny) (využití v biotechnologiích, pouze *in vitro*)

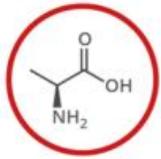
# „Nekanonické“ aminokyseliny

Trojice párů kanonických bází kódují pořadí 22 aminokyselin. Selenocystein není u *rostlin* a *kvasinek*, pyrrolisin mají *archea*.

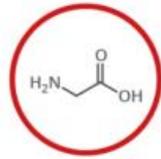
→ *Methanosarcina*



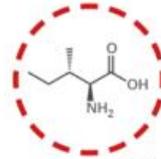
**SELENOCYSTEIN**  
UGA



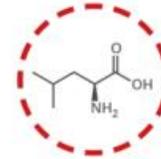
**ALANIN** (A)  
Ala  
GCT, GCC, GCA, GCG



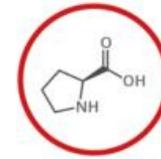
**GLYCIN** (G)  
Gly  
GGT, GGC, GGA, GGG



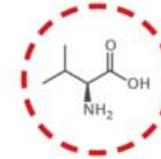
**ISOLEUCIN** (I)  
Ile  
ATT, ATC, ATA



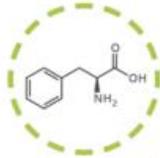
**LEUCIN** (L)  
Leu  
CTT, CTC, CTA, CTG, TTA, TTG



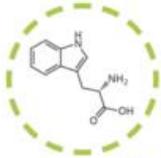
**PROLIN** (P)  
Pro  
CCT, CCC, CCA, CCG



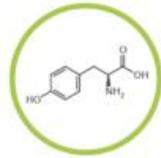
**VALIN** (V)  
Val  
GTT, GTC, GTA, GTG



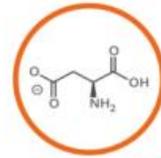
**PHENYLALANIN** (F)  
Phe  
TTT, TTC



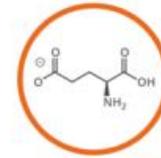
**TRYPTOPHAN** (W)  
Trp  
TGG



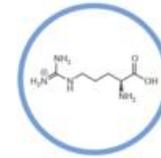
**TYROSIN** (Y)  
Tyr  
TAT, TAC



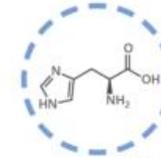
**KASPARÁGOVÁ** (D)  
Asp  
GAT, GAC



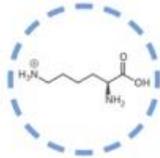
**KGLUTAMOVÁ** (E)  
Glu  
GAA, GAG



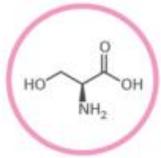
**ARGININ** (R)  
Arg  
CGT, CGC, CGA, CCG, AGA, AGG



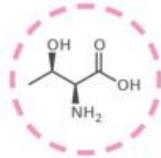
**HISTIDIN** (H)  
His  
CAT, CAC



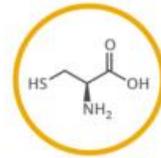
**LYSINE** (K)  
Lys  
AAA, AAG



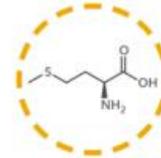
**SERIN** (S)  
Ser  
TCT, TCC, TCA, TCG, AGT, AGC



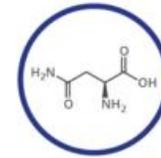
**THREONIN** (T)  
Thr  
ACT, ACC, ACA, ACG



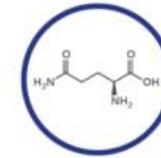
**CYSTEIN** (C)  
Cys  
TGT, TGC



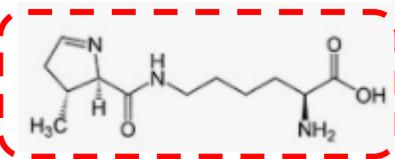
**METHIONIN** (M)  
Met  
ATG



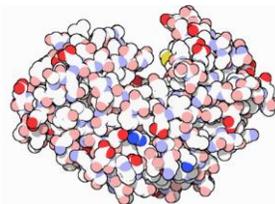
**ASPARAGIN** (N)  
Asn  
AAT, AAC



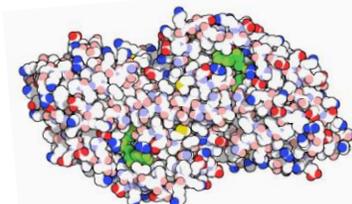
**GLUTAMIN** (Q)  
Gln  
CAA, CAG



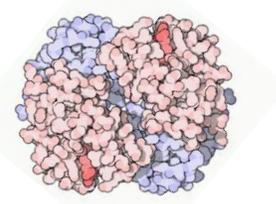
**PYROLYSIN**  
UAG



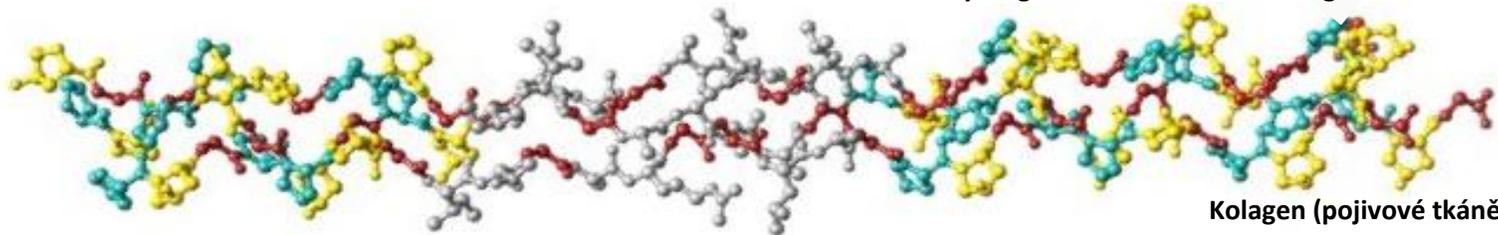
Pepsin (trávení)



Alkohol dehydrogenáza



Hemoglobin



Kolagen (pojivové tkáně)

## Role nekódovaných aminokyselin:

- Umělé (118)
- Různé nalezené v přírodě (80)
- Pro modifikaci proteinů (stěžejní pro funkčnost - pojivové tkáně, vazba iontů, toxiny).
- Toxické aminokyseliny ( $\beta$ -Methylamino-L-alanin ze sinic).
- Meziprodukty a metabolity

## Evoluce na Zemi

- Prvotní aminokyseliny: Glycin a alanin
- Expanze počtu aminokyselin je dána kapacitou genetického kódu (max. 64), dostupností, využitelností (kompetiční výhoda – genový transfer u bakterií) a možná i ekologií systému?

## Mimozemské aminokyseliny:

- V meteoritech (kanonické i nekanonické)
- Teoreticky je možné, že mimozemský život využívá alternativní aminokyseliny

„Nekanonické“ prvky?

## Případ „Křemík“



Julius Scheiner  
1891: Navržení  
konceptu



Stanley Grauman  
Weinbaum  
1934: Odysea z Marsu

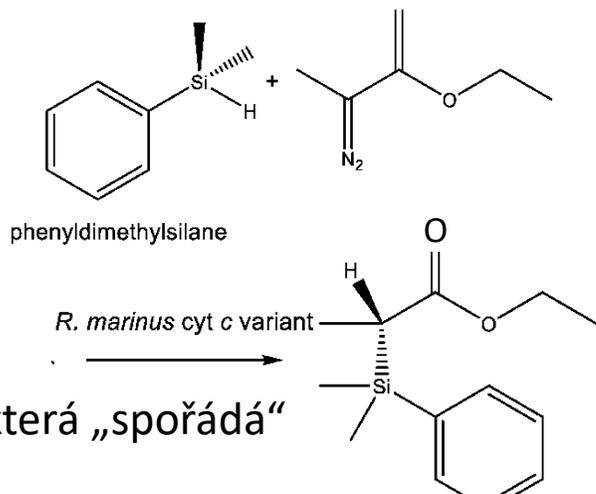
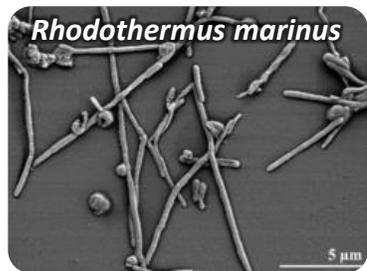
Notoricky opakovaný koncept vycházející z vědecko-fantastického románu.

# Případ křemík

Uhlík a křemík bývají označováni za „falešná“ dvojčata.

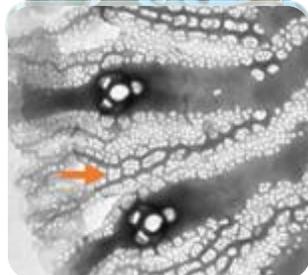
## Křemík životu chutná:

### Tvorba vazby Si-C:



Termofilní bakterie, která „spořádá“ či vyrobí téměř vše: Enzymy rozloží např. aromatické uhlovodíky, DDT, ale vyrobí např. antibiotika

### Tvorba vazby Si-O:



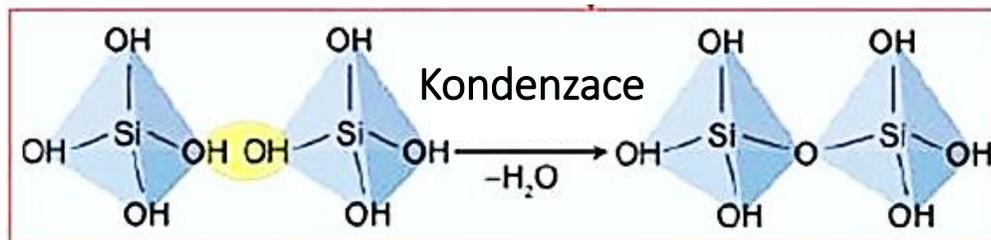
Speciální organela SDV (Silicon Deposition Vesicle)

Kyselina ortokřemičitá

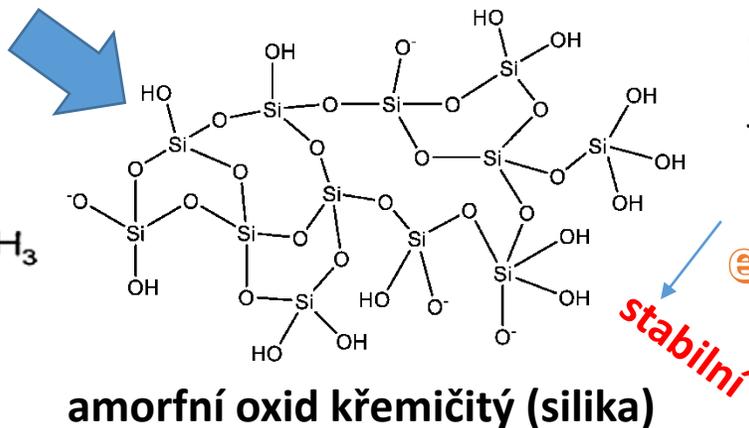
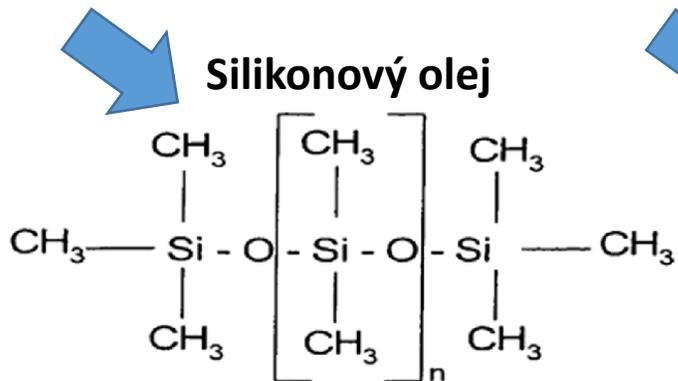
2 mM



Oxid křemičitý  $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  + N-methylpropylamin



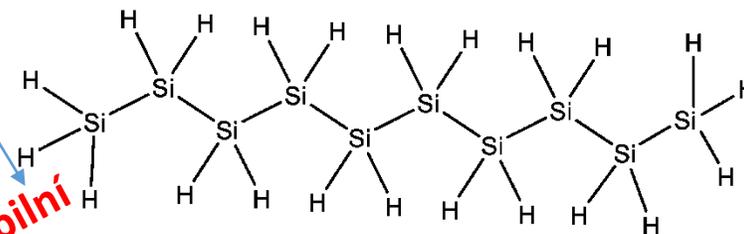
Znamená metabolizace či strukturní využití sloučenin s vazbou Si-O a Si-C také to, že jsou vhodné pro fungování živých struktur? **NE!**



Silan  $\text{SiH}_4$  je samozápalný. Silany  $\text{Si}_x\text{H}_y$  se rozpadají, jsou reaktivní a hydrolyzují se.

Křemík je extrémista!

nestabilní

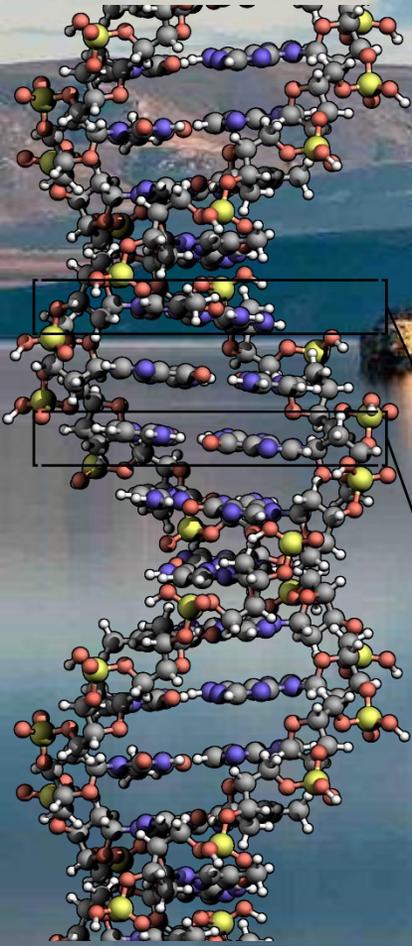
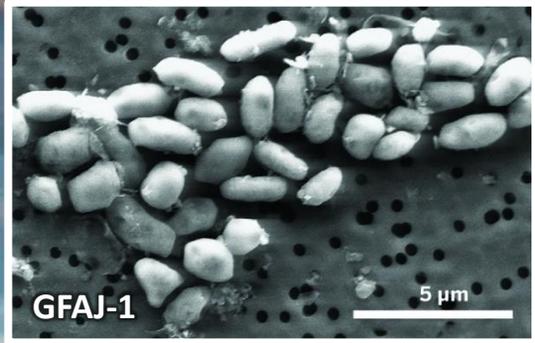


n-dekasilan ( $\text{Si}_{10}\text{H}_{22}$ )

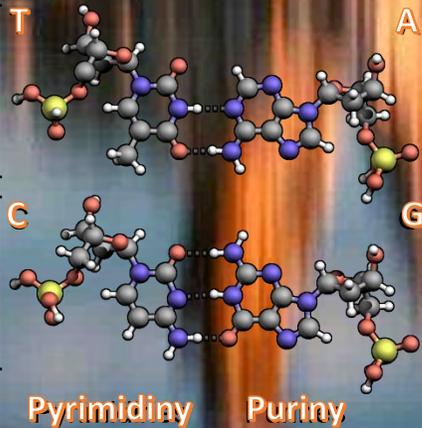
# Případ arsen

V roce 2010 tým NASA ohlásil „objev“ bakterie GFAJ-1, která má údajně inkorporovat As místo P do DNA.

V roce 2012: „Jejich nejpozoruhodnější tvrzení bylo, že arsen byl začleněn do páteře DNA, a co můžeme říct je, že v DNA není vůbec žádný arsen.“



- Vodík en
- Kyslík en
- Dusík en
- Uhlík en
- Fosfor / Arsen



Jezero Mono v Kalifornii.

Rosie Redfield

Felisa Wolfe-Simon

# Podmínky pro život

## Progresivní pohled:

Pokud se život vyskytuje v množství forem, pak není možné jej jednoznačně vyloučit prakticky kdekoliv.

## Konzervativní pohled:

Jestliže život může existovat na bázi uhlíku jen na pozemských planetách, musíme hodnotit podmínky pozemskými měřítky.



# Hodnocení obyvatelnosti planety

Pouze geocentrický konzervativní pohled je dobře popsán a vědecky opodstatněn.

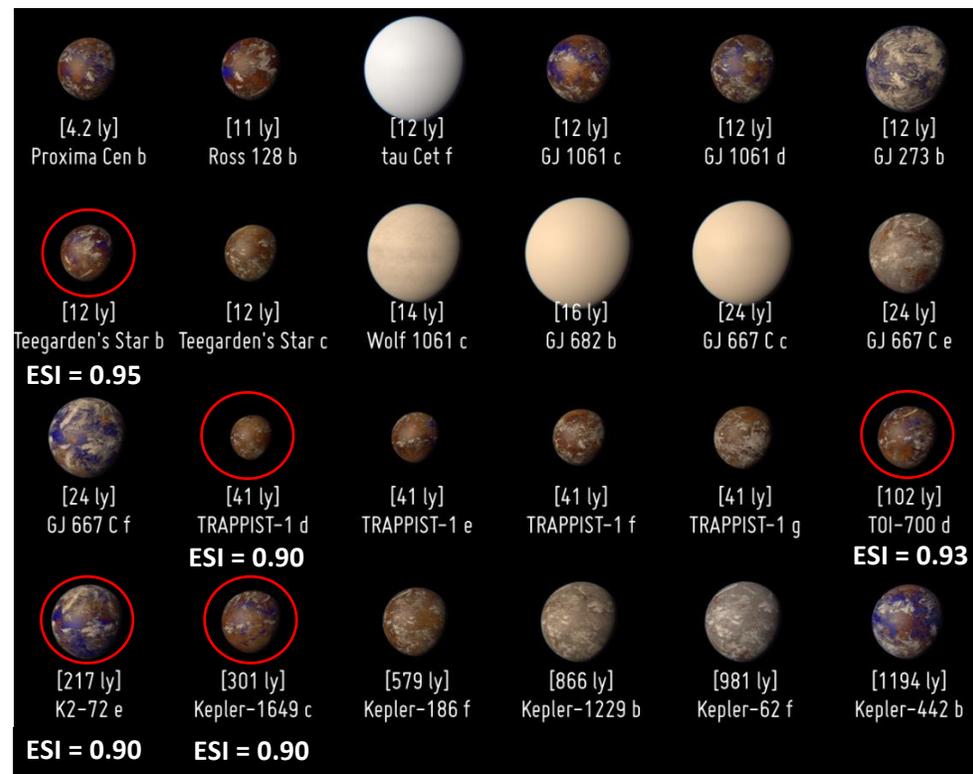
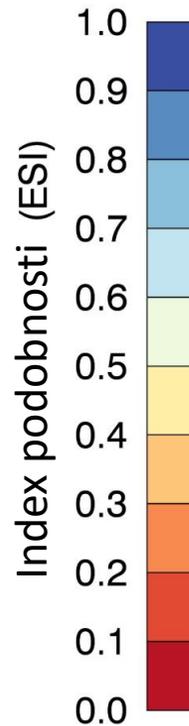
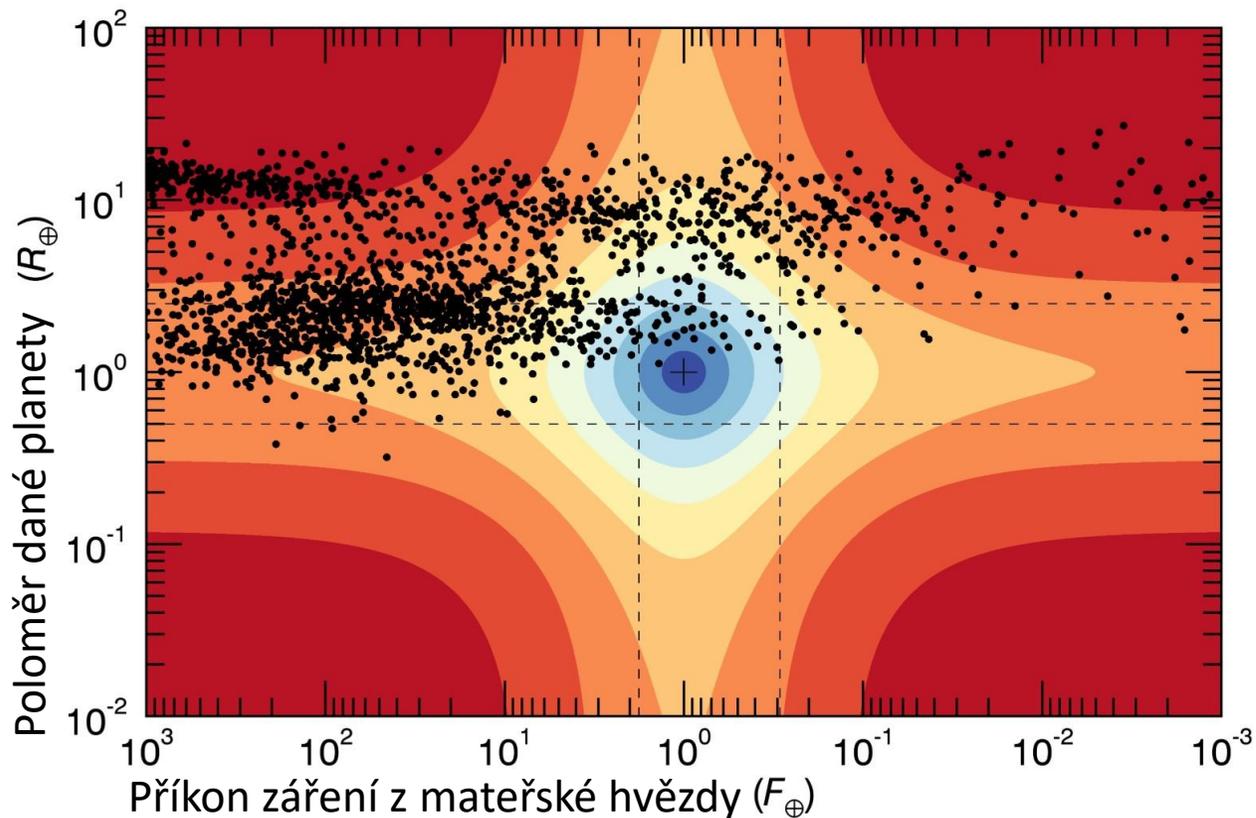
Earth Similarity Index:

$$ESI(S,R) = 1 - \sqrt{\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{S - S_{\oplus}}{S + S_{\oplus}} \right)^2 + \left( \frac{R - R_{\oplus}}{R + R_{\oplus}} \right)^2 \right]}$$

$S$  je příkon záření dané planety,  $R$  je poloměr planet  
 $S_{\oplus}$  je příkon záření na Zemi ( $1373 \text{ W/m}^2$ ) a  $R_{\oplus}$  je poloměr Země ( $6371 \text{ km}$ ).

$$ESI = \prod_{i=1}^n \left( 1 - \frac{|x_i - x_{i0}|}{x_i + x_{i0}} \right)^{\frac{w_i}{n}}$$

Lze zavést také  $n$  dalších parametrů jako je hustota, úniková rychlost, povrchová teplota atd. Potom  $x_i$  je daný parametr a  $x_{i0}$  je jeho referenční hodnota pro Zemi.  $w_i$  je pak váhový exponent (0,57 pro poloměr; 1,07 pro hustotu; 0,7 pro únikovou rychlost a 5,58 pro povrchovou teplotu.



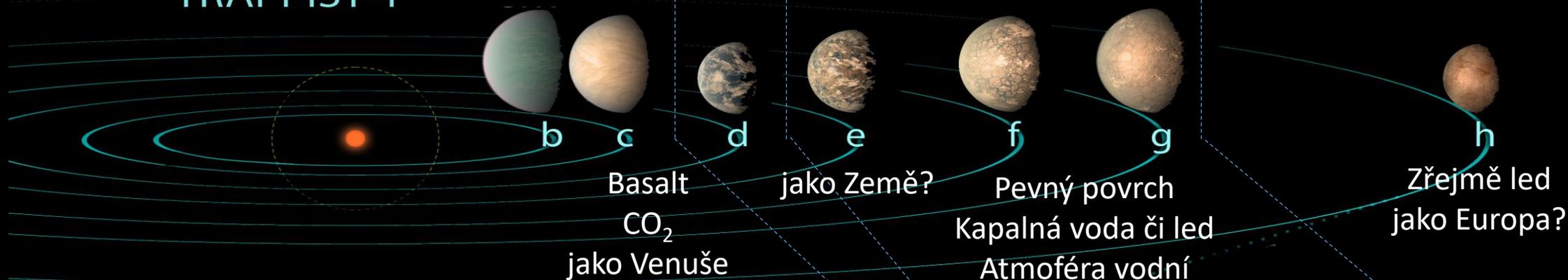
Jupiter

# Voda? Voda!

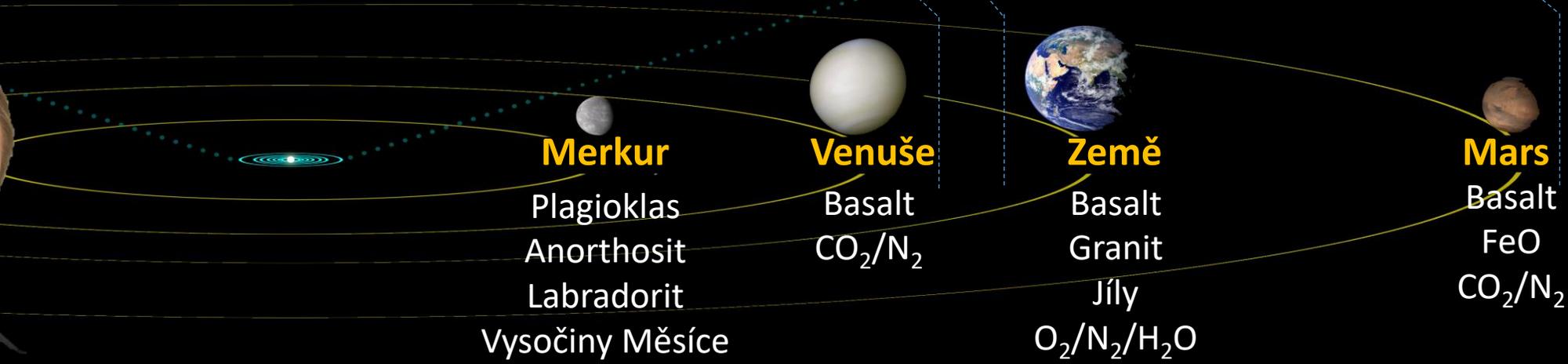


## TRAPPIST-1

Optimistická – Konzervativní zóna života



## Sluneční soustava



Petr Kabáth



*Geotermální pánev Dallol – Etiopie: Kde je voda, ale není tam život...*

# Vědecká fantazie o cizích světech

Princip vývojové konvergence: **Není neopodstatněné předpokládat, že život bude podobný pozemskému.**



Tomáš Petrásek

**N** SERIÁL  
SVĚT MIMOZEMŠŤANŮ

37 z 41 min

**Pokračovat**



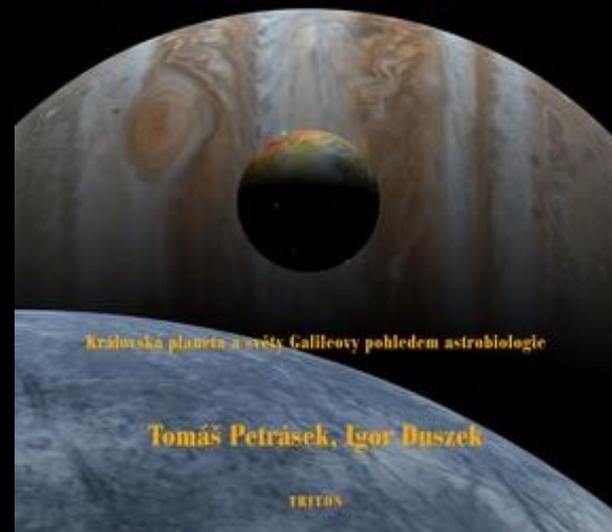
98% shoda 2020 **7+** 1 řada **HD**

„Atlas“

Na exoplanetě Atlas vytváří silná gravitace hustou atmosféru. Ve vzduchu se díky tomu dobře daří různým formám života, které se umí skvěle přizpůsobit okolnímu prostředí.

## Vzdálené světy I

Bezedné nebe a oceány bez oblohy



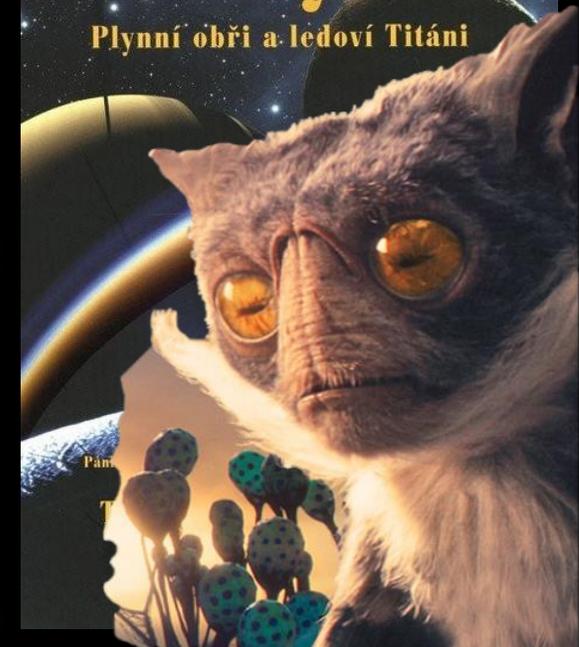
Královská planeta a světy Galileovy pohledem astrobiologie

Tomáš Petrásek, Igor Duszek

TRITON

## Vzdálené světy II

Plynní obři a ledoví Titáni



Pán

T

# Inteligentní život ve vesmíru?

Mimozemšťané jsou součástí pop kultury, ale přesvědčivé vědecké důkazy neexistují nebo nejsou známy.



### Chrám Setiho I. v Abydu

Fotografie od turistů. Některé údajně nesou stopy úprav.



### Madona s dítětem (Jacopo del Sellaio)



### ©CBS NEWS Holy Land Hoax: Jerusalem UFO Not Kosher

### UFO nad Skalním dómem



### Figurky z Quimbaya

Reálné figurky ptáků, netopýrů, bohů a ...?



### There's a whole fleet of them. Look on the ASA

# Pravděpodobnost nalezení civilizace

Teoretický počet civilizací N, se kterými bychom mohli navázat spojení:

1961: Frank Donald Drake



$$N = R_* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$

Roční přírůstek hvězd schopných hostit planetu s inteligentním životem

Poměr hvězd, které hostí planety

Počet planet v soustavách s podmínkami pro život

Počet planet v soustavách, kde život skutečně vznikne

Počet planet v soustavách, kde se vyvine inteligentní život

Počet planet v soustavách, kde inteligentní život vytvoří technicky pokročilou civilizaci

Doba trvání civilizace

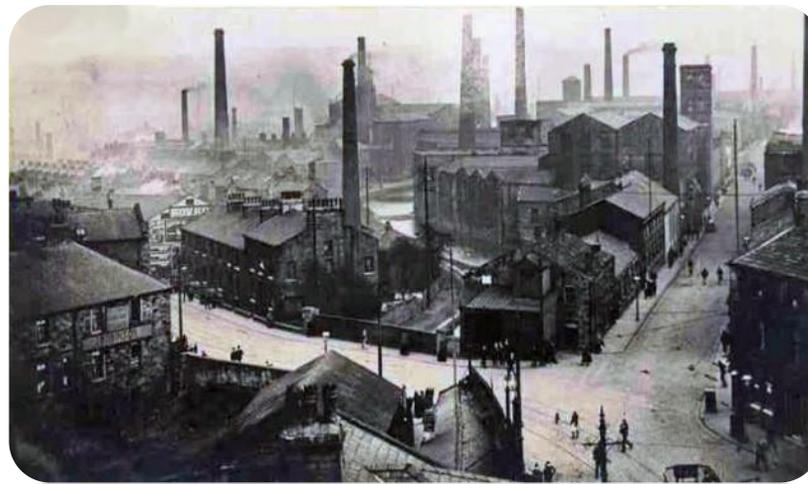
$$0.014 \text{ až } 140\,000 = 7 \times (0,8 \text{ až } 1) \times (0,5 \text{ až } 2) \times (0,01 \text{ až } 1)^2 \times (0,5 \text{ až } 1) \times (100 \text{ až } 10000)$$

# Kardašovova škála – jak se civilizace vyvíjejí?

60. léta 20. stol.

Index rozvoje civilizací:  $K = \frac{\log_{10} P - 6}{10}$ , kde P je energie využitá civilizací (interpolace Karlem Saganem)

Stupeň/typ (či mezistupeň/mezityp pro porovnání)	ekvivalentní civilizace	množství využité energie
0,25	Římská říše	$10^8$ W
0,5	Svět v době průmyslové revoluce	$10^{11}$ W
0,72	Současný svět	$10^{12}$ W
1	Civilizace schopná využít veškeré zdroje své domovské planety	$4 \cdot 10^{16}$ W
2	Civilizace schopná využít veškeré zdroje své domovské hvězdy	$4 \cdot 10^{26}$ W
3	Civilizace schopná využít veškeré zdroje své domovské galaxie	$4 \cdot 10^{37}$ W
4	Teoretická - Civilizace schopná využít veškeré zdroje ve vesmíru.	$> 4 \cdot 10^{37}$ W

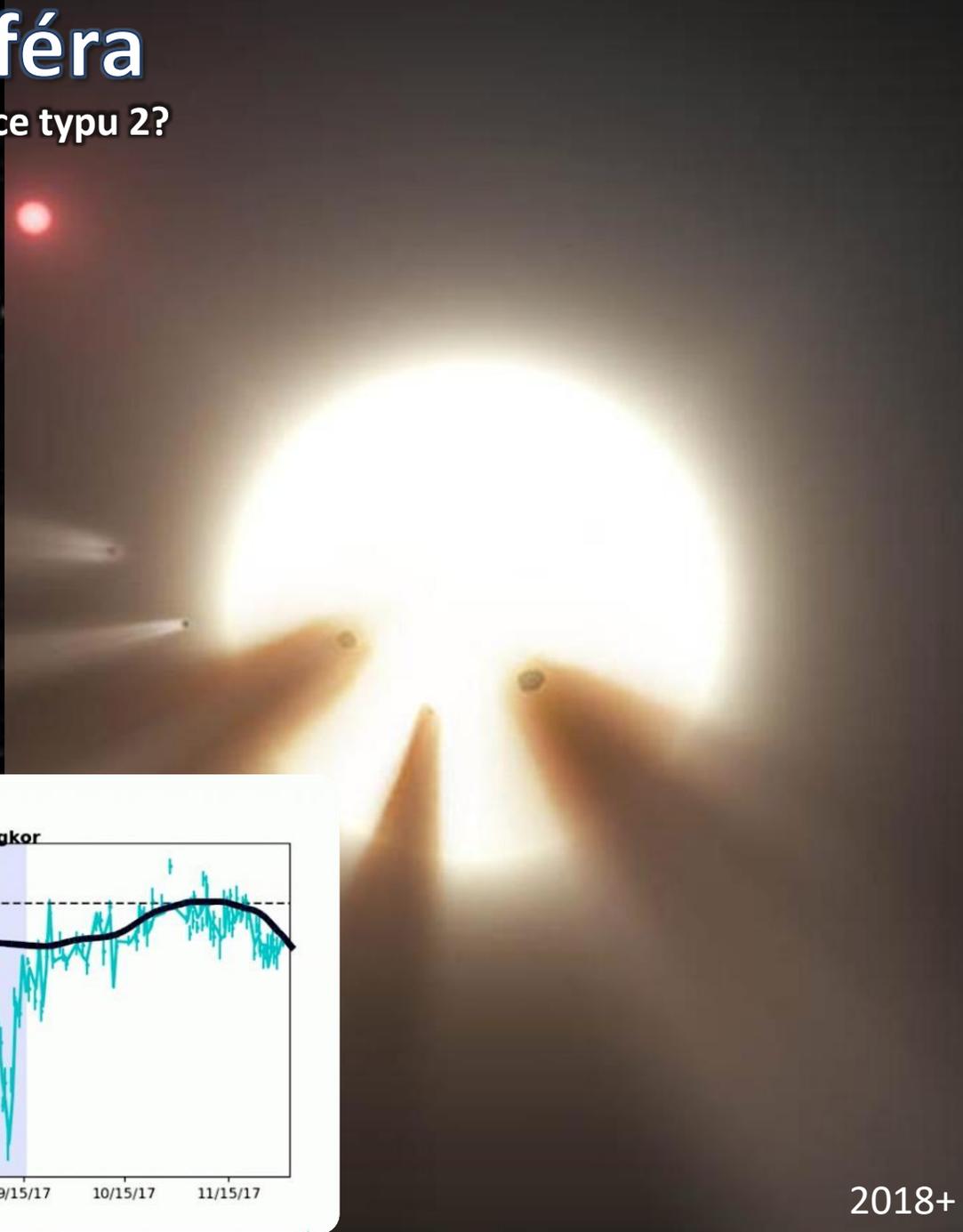
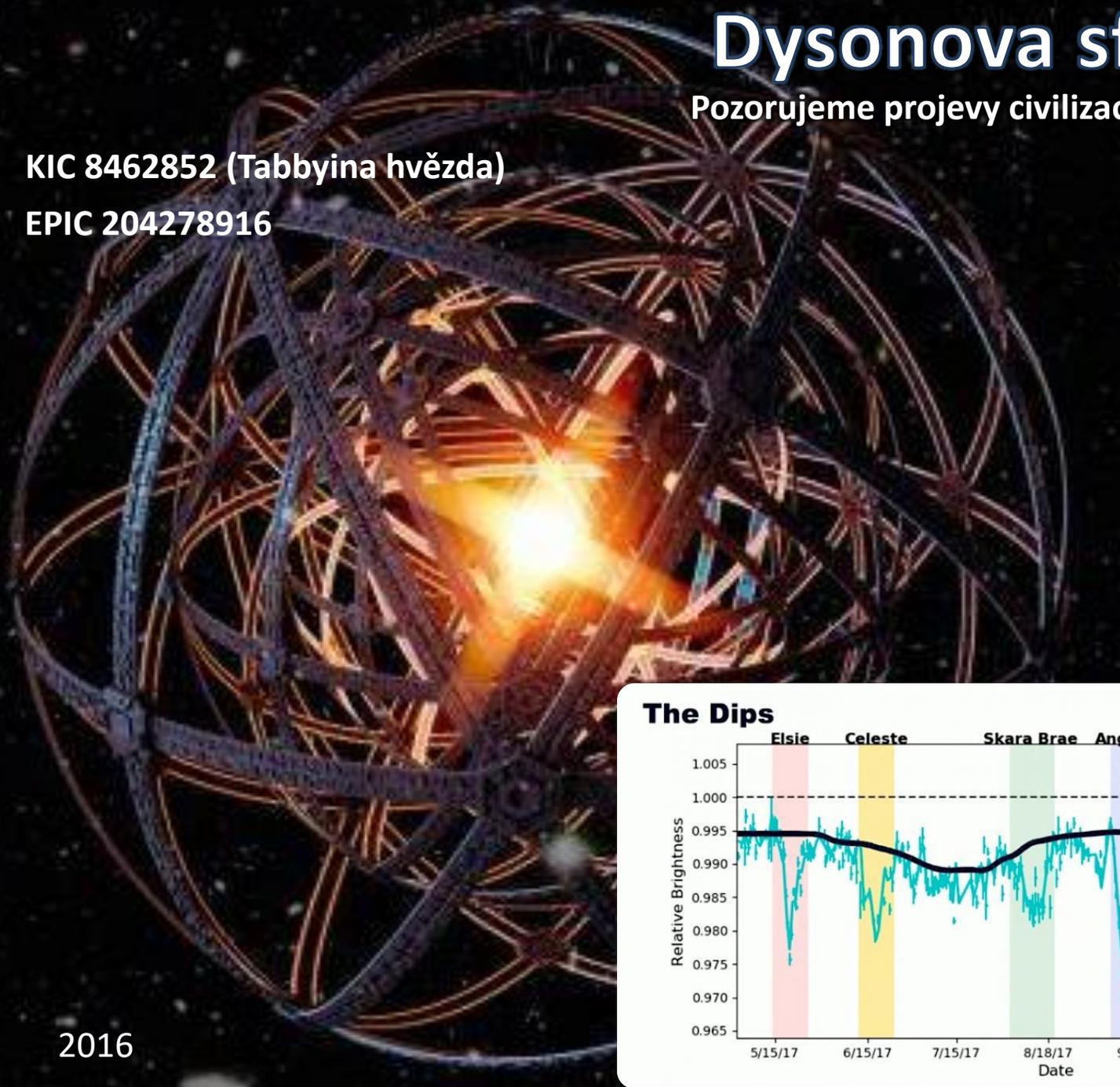


# Dysonova sféra

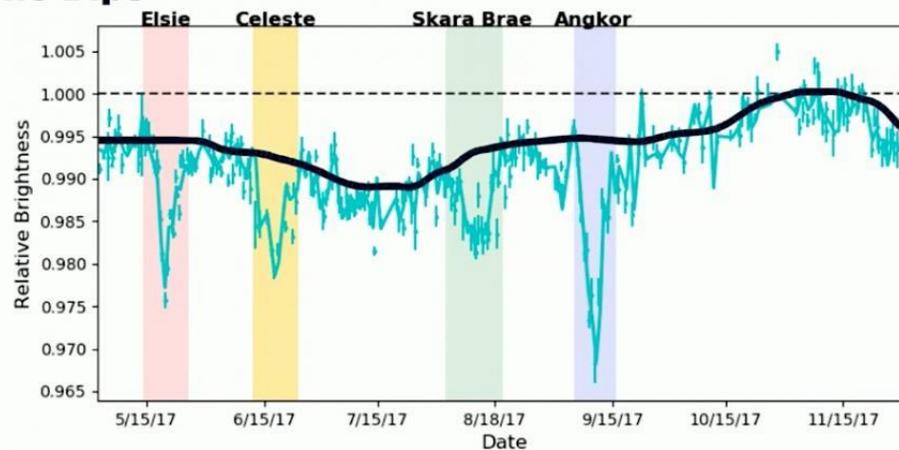
Pozorujeme projevy civilizace typu 2?

KIC 8462852 (Tabbyina hvězda)

EPIC 204278916



The Dips



2016

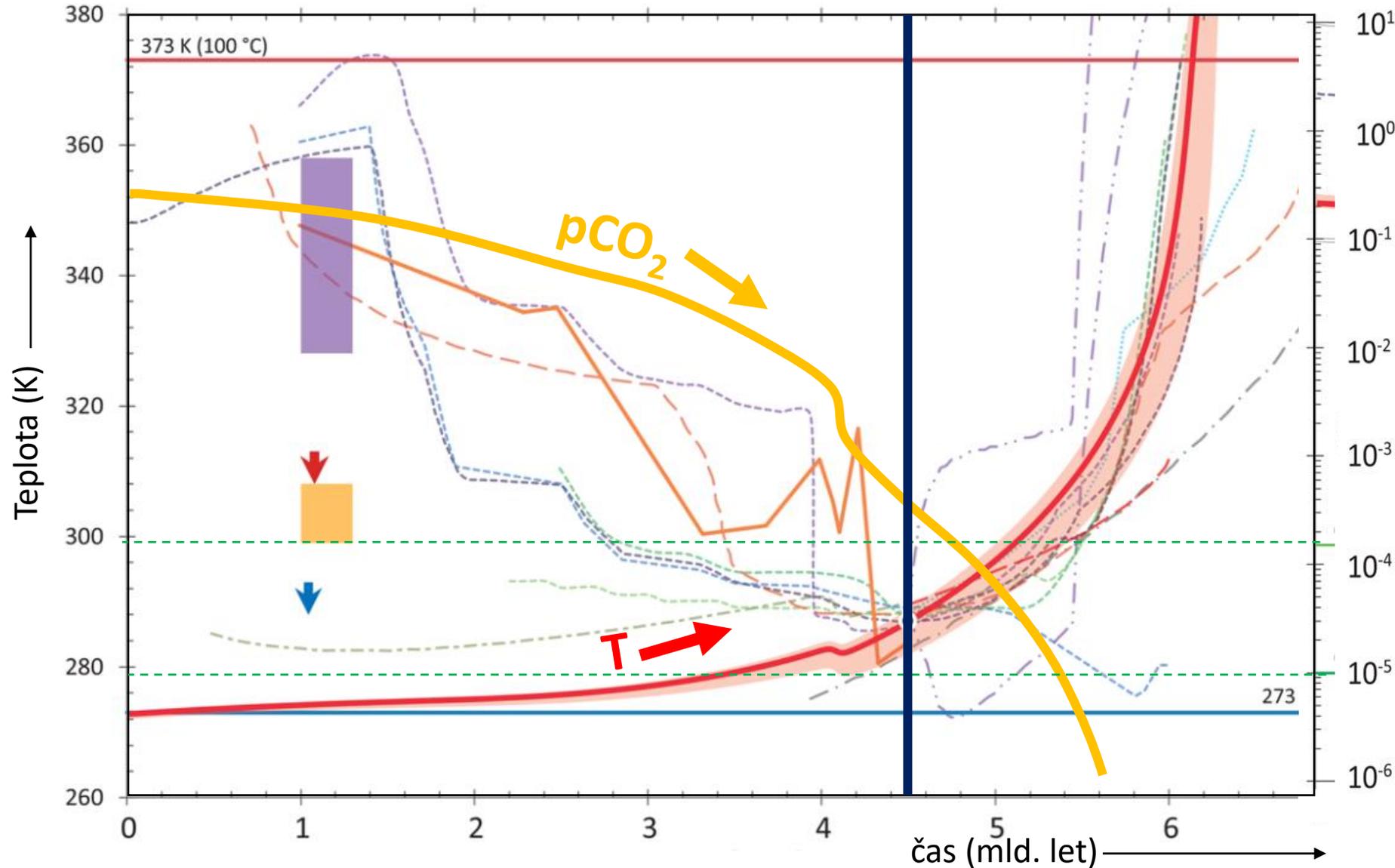
2018+

F

# Konec světa se blíží...



**Země:** Život vznikl před cca 3,7 – 4,1 mld. lety. Slunce se změní v rudého obra za 3,5 mld. let.



Parciální tlak oxidu uhličitého (bar)

Zvyšující se teplota zapříčiní změny v biosféře, zvětrávání minerálů a **snížení obsahu CO<sub>2</sub>** v atmosféře:

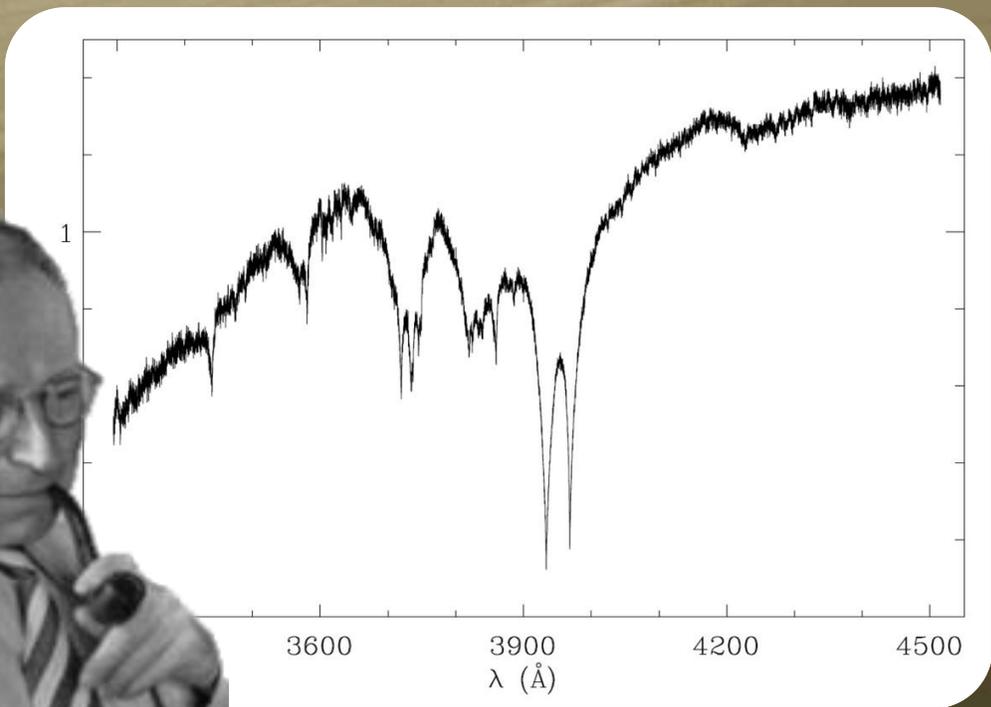
170 (+ 320, - 110) mil.  
**Kolaps C3 rostlin**  
95 % rostlin

840 (+ 270, - 100) mil.  
**Kolaps C4 rostlin**  
První produkt fotosyntézy je oxalacetát (C4) – Kukuřice, bambus  
Dvojitá fixace CO<sub>2</sub> – efektivní i při nízkých koncentracích.

1.63(+ 0.14, - 0.05) Gyr  
Nevyhnutelný konec biosféry (Slunce)

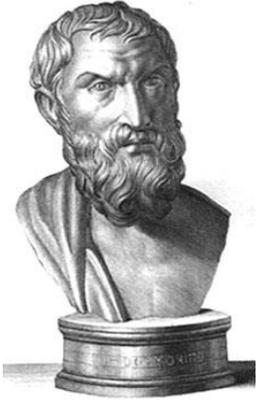
# Zánik našeho světa

Paradoxně prvním důkazem o existenci planet kolem cizích hvězd bylo pozorování planetárního hřbitova: čar vápníku ve spektrech bílého trpaslíka Wolf 28 (Van Maanenova hvězda 2) v roce 1917.



# Představy o životě mimo Zemi napříč historií

Otázky, které si klademe dnes nejsou vůbec nové...



**TITUS LUCRETIUS CARUS** 1. stol. př. n. l.

„...je nepravděpodobné, že v nekonečném vesmíru by svět, jako je ten náš, vznikl pouze na tomto místě.“



**ALBERTUS MAGNUS** 13. stol.

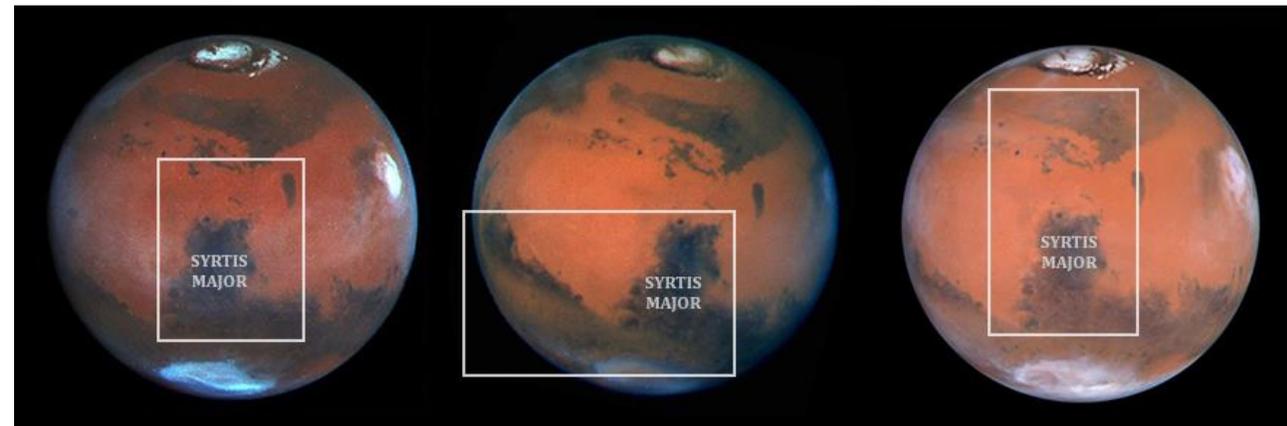
„...existují jiné světy nebo je jen jeden?“



**CHRISTIAAN HUYGENS**

Objevil polární čepičky Marsu (1672) a oblast Syrtis Major (1659). V knize Cosmotheros spekuluje o životě na Marsu.

Oblast Syrtis Major a pozorování Ch. Huygense





1784 - William Herschel předpokládá na základě pozorování konjukce Marsu s hvězdami, že atmosféra Marsu je řídká a v blízkosti neovlivňuje jasnost hvězd. Temné oblasti přisuzuje existenci oceánů. Předpokládá, že podmínky života martanů jsou stejné, jako podmínky života na Zemi.

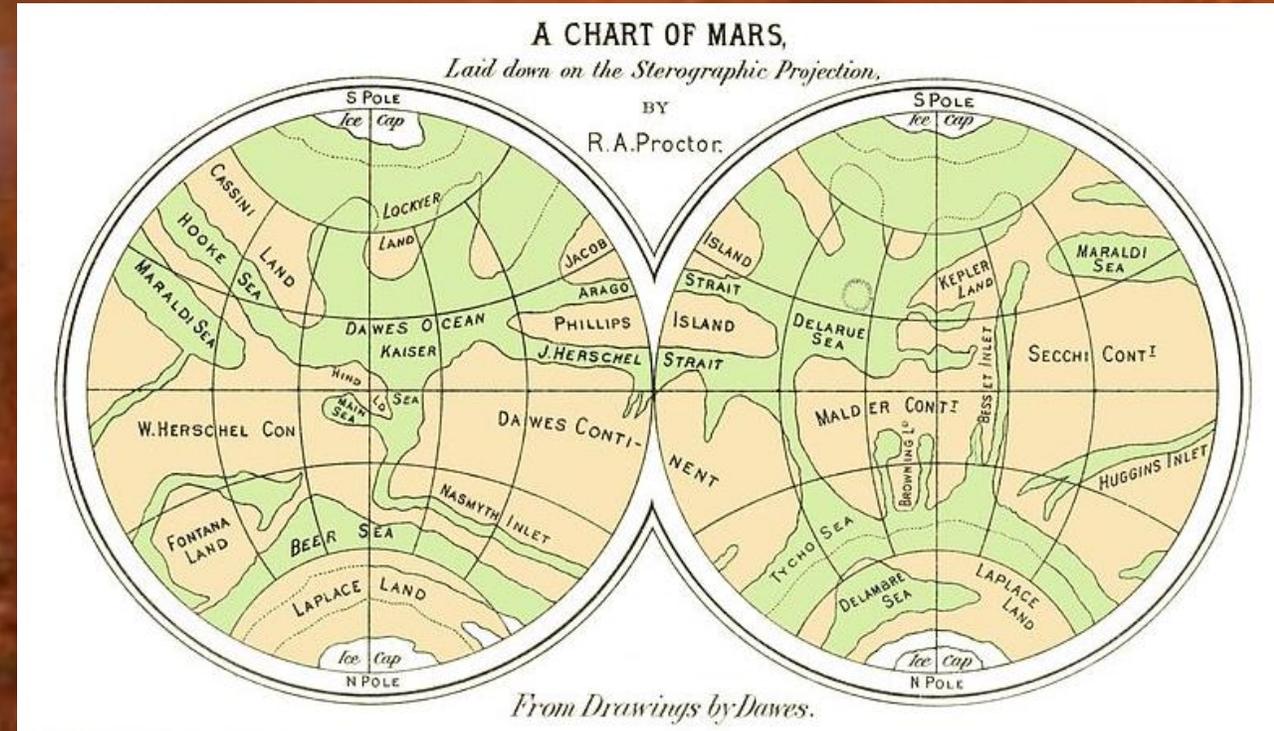
1778 - provádí pozorování Měsíce a předpokládá existenci měst.





**1854** - William Whewell formuluje vědecky podložený předpoklad, že na Marsu jsou zelená moře, červené pevniny a mimozemský život. Spekuluje o životě na Venuši. Kniha „O pluralitě světů“

**1867** - Richard Anthony Proctor publikuje mapu Marsu s kontinenty a oceány.





**Giovanni Schiaparelli**

**1867** – Přesná mapa Marsu zakládá nomenklaturu na základě mytologie, používá termín „canali“



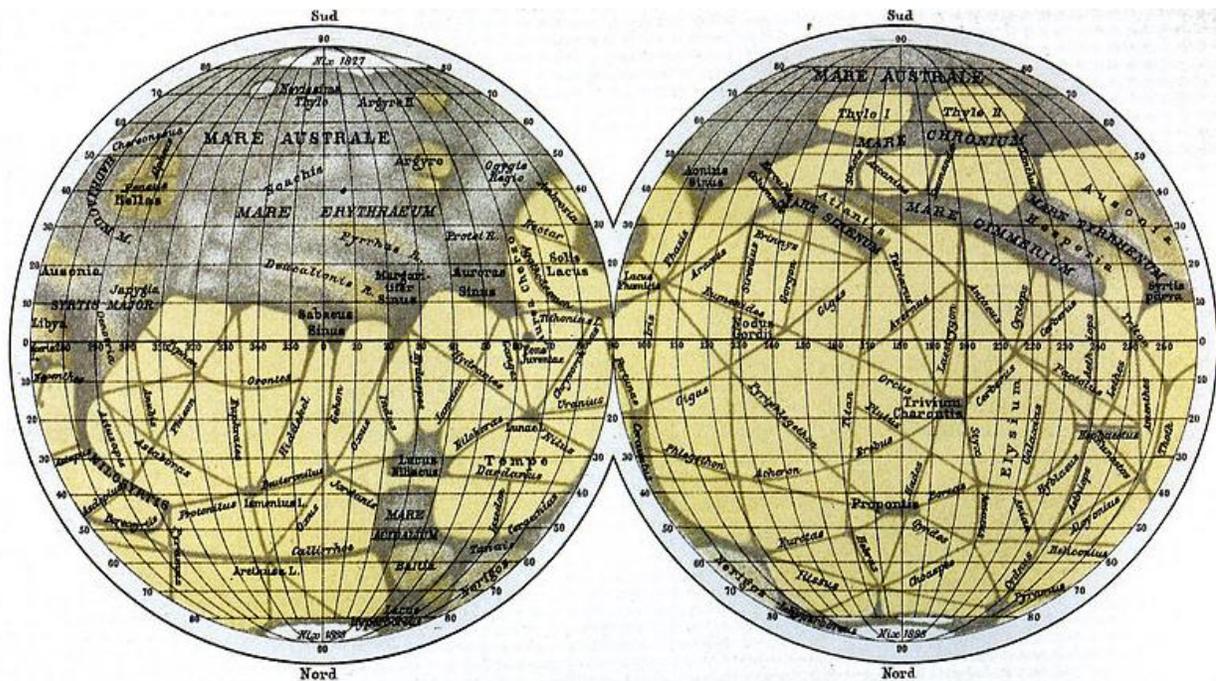
**Percival Lowell**

**1894** – Začíná pozorování Marsu na observatoři Flagstaff (Arizona, USA).



**Edward Emerson Barnard**

Kanály nelze prokázat!



Carte d'ensemble de la planète Mars avec ses lignes sombres non doublées observées pendant les six oppositions de 1877-1888 par J.V.Schiaparelli.



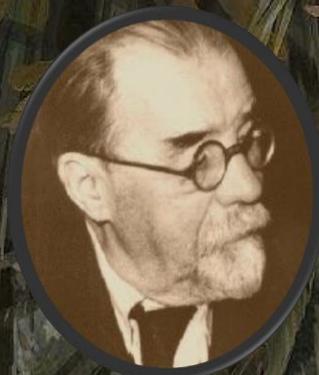
**Panama 1880 – 1889 a 1900 - 1914**



# Deštný prales na Venuši

Charles G. Abbot

poč. 20 stol. – oblaka a tropy

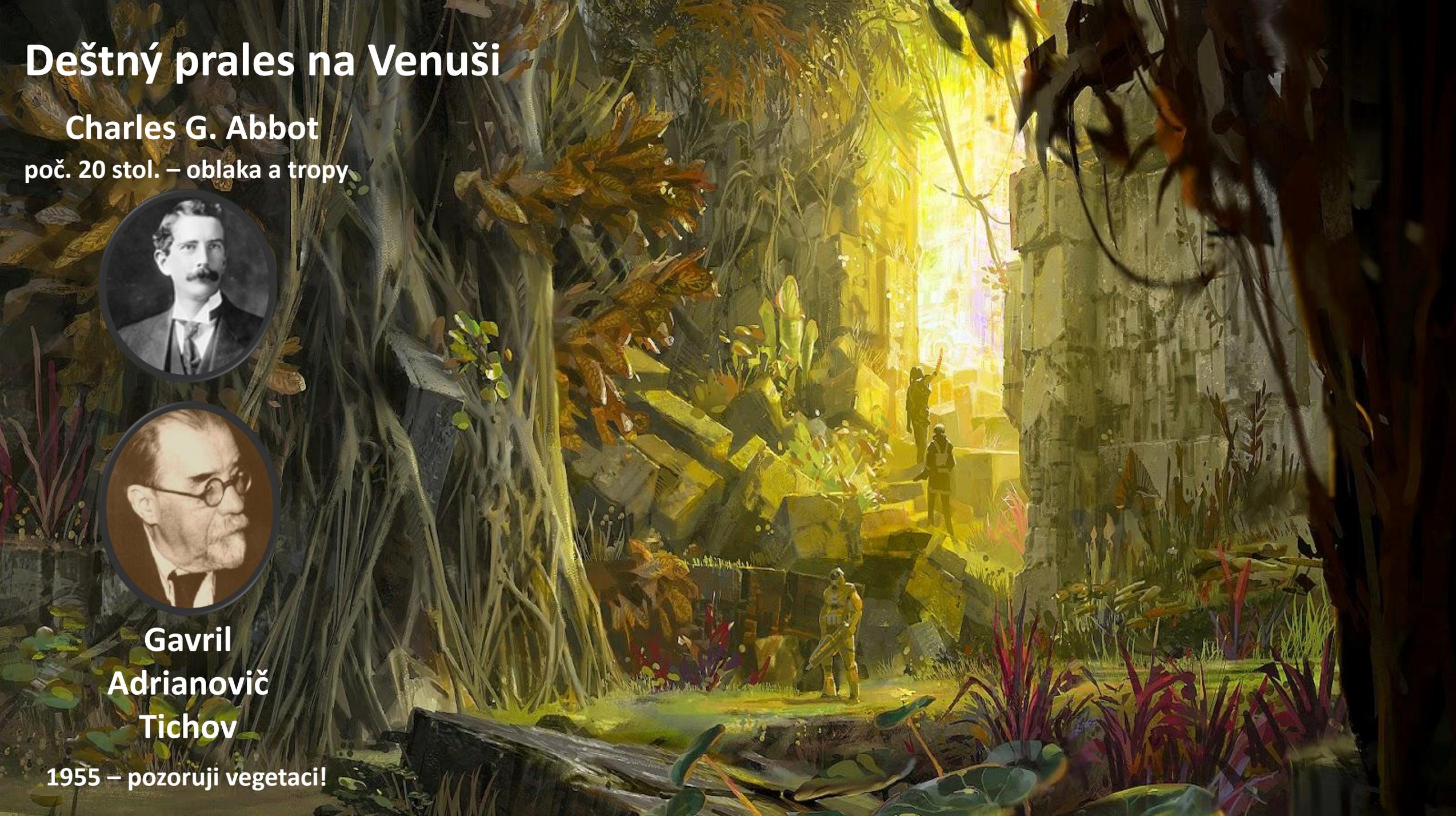


Gavril

Adrianovič

Tichov

1955 – pozorují vegetaci!



# Konec snů...



**William W. Campbell**

**1894** – Nepotvrdil spektra vody a kyslíku na Marsu a tvrdí, že se jedná o telurickou linii.



**Seth Barnes Nicholson a Edison Pettit**

**1924** – Povrchová teplota Marsu je mezi -68 a + 7°C



**Bernard Lyot**

**1929** – Pomocí polarizovaného světla měří mohutnost atmosféry Marsu. Data ukazují tlak 24 mbar.



**Robert Grant Aitken**

**1911** – Argumentoval, že jestliže se den na Venuši rovná roku, pak jedna část musí být horkou pouští a druhá velmi chladná, tedy nepřátelská životu.

**1962** – Mariner 2: Venuše je velice horká

**1964** – Mariner 4: Mars je pouštní planeta



**Walter S. Adams**

**1925** – Přiklání se k hypotéze Campbella, že na Marsu není detekovatelná voda ani kyslík.

**1926** – Konečně úspěšné měření zastoupení vody a kyslíku ukazuje, že Mars je pouštní planeta.



**Arthur Adel**

**1937** – Spočetl povrchovou teplotu Venuše na více jak 50 °C.



**Rupert Wildt**

**1934** – Oxidy a hydroxidy železa způsobují barvu Marsu.

**1938** – Revize Adelových výpočtů, teplota Venuše bude přesahovat bod varu vody.

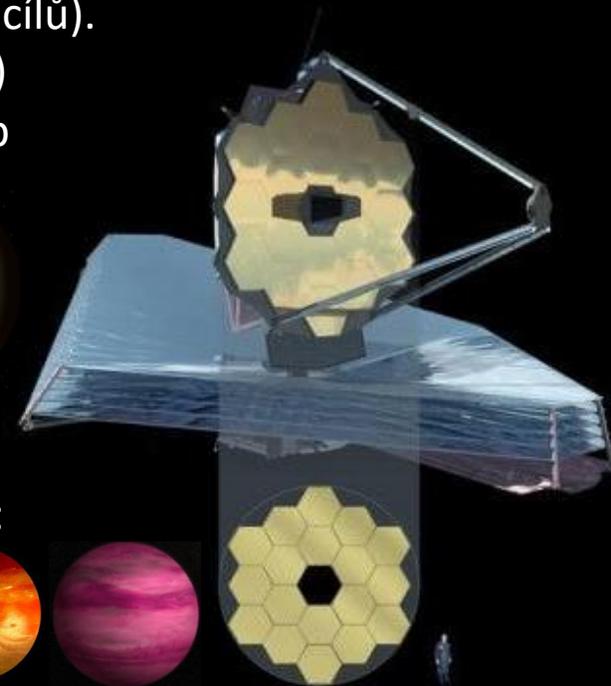
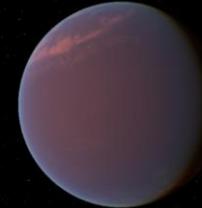
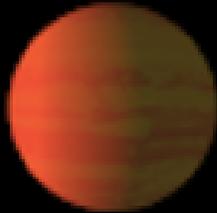
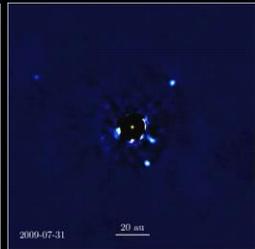
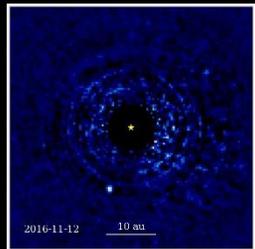


# Realita může být pestřejší, než fantazie...

**Po roce 2022** – první pozorování exoplanet kosmickým dalekohledem **Jamese Webba** (jeden z cílů).

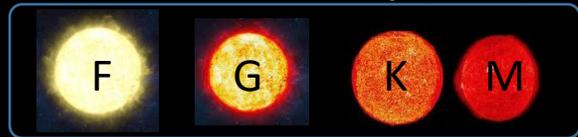
Primární cíle jsou dobře prozkoumané exoplanety (přímé zobrazení, hodně dat)

51 Eridani HR 8799 HD 189733 b WASP-63 b 55 Cancri e HD 209458 b GJ 1214 b

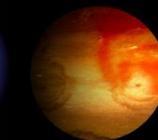
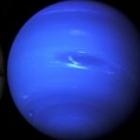
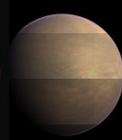


**Po roce 2028** – systematický výzkum cca 1000 exoplanet kosmickým dalekohledem **Ariel**

Mateřské hvězdy (Ariel)



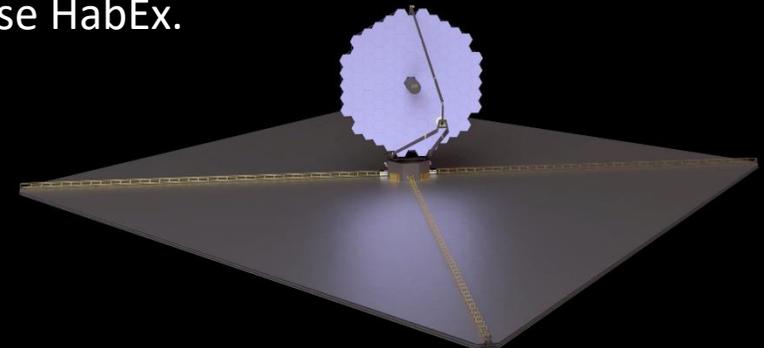
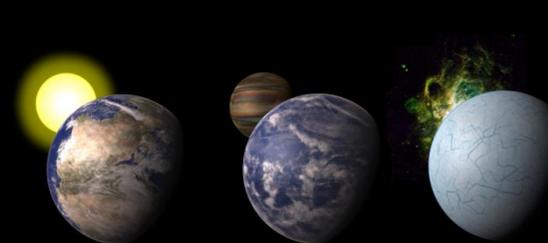
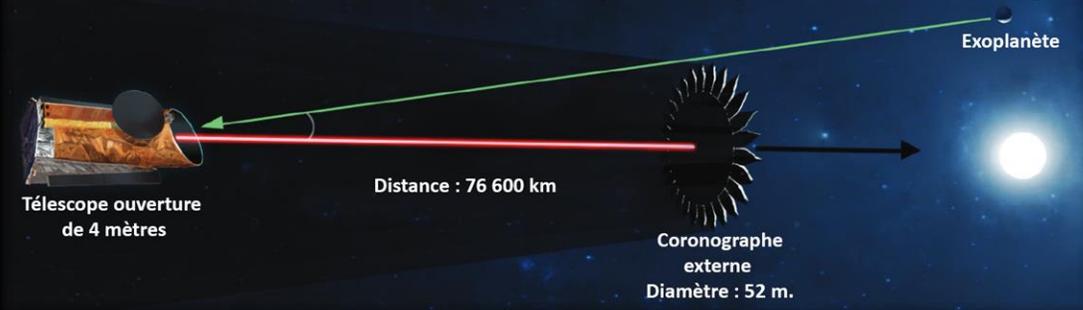
Superzemě: horké, teplé, chladné Neptuny:



Jupitery:

**Po roce 2039** – výzkum exoplanet pomocí kosmického dalekohledu **LUVOIR** (Large Ultraviolet Optical Infrared Surveyor)

**Po roce 2035** – zobrazení exoplanet pomocí koronografu, planety typu Země cílem mise HabEx.





...žijte dlouho a  
blaze!

Děkuji za pozornost!