

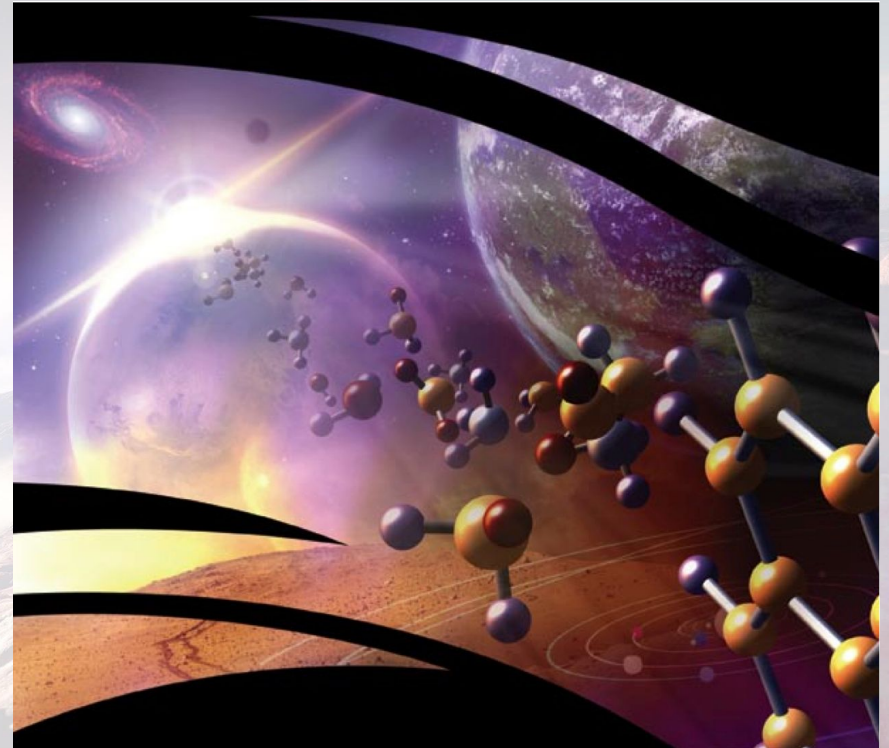
# F7514 Exoplanety

## 10-Astrobiologie a hledání života ve Vesmíru

Marek Skarka

# Astrobiologie a Život

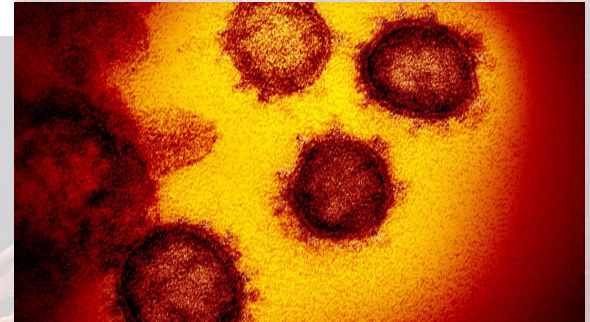
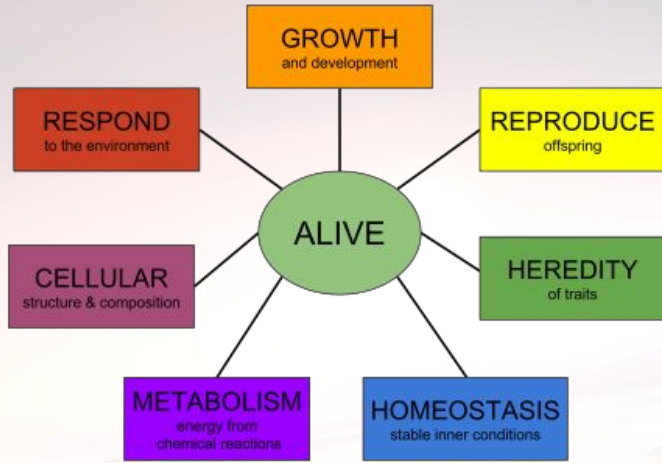
**Astrobiologie** je komplexní věda zabývající se vznikem a vývojem života ve vesmíru, vlivem okolních podmínek na jeho vlastnosti, a jeho hledáním. Kombinuje astronomii, chemii, biologii, geologii, fyziku...





# Astrobiologie a Život

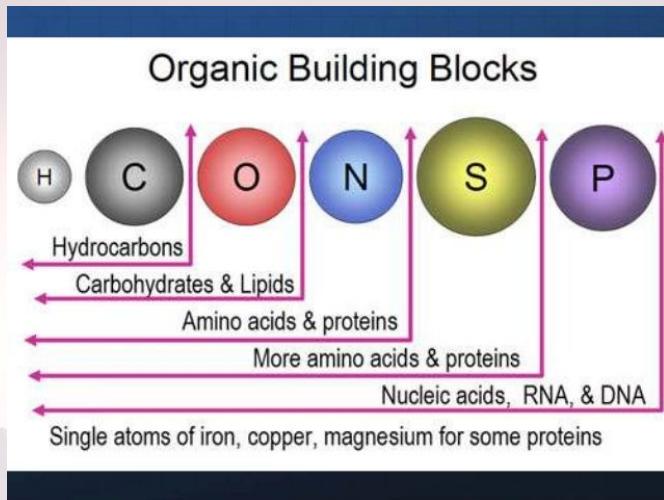
Jednotná definice **život**a neexistuje. Obecně se jedná o vysoce organizovaný systém který je schopný reagovat na své okolí, přeměňovat energii, vyměňovat si materiál s okolím, růst a rozmnožovat se.



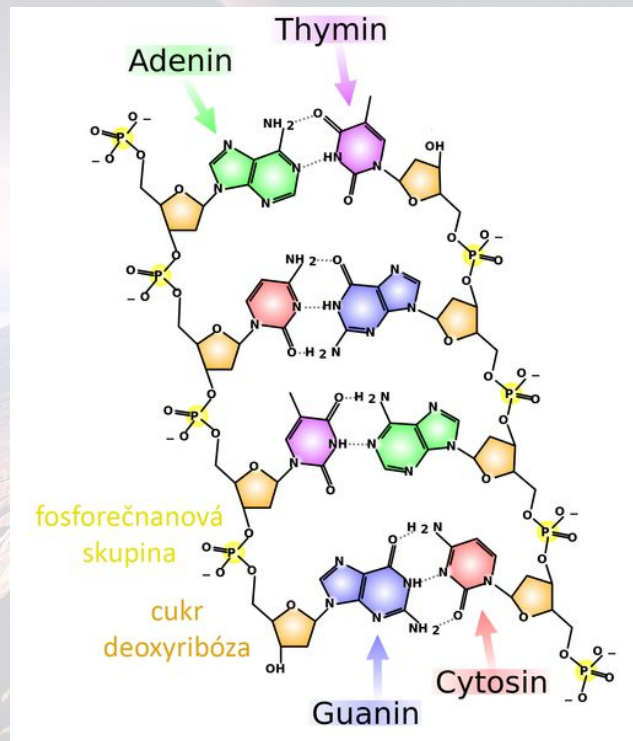
# Astrobiologie a Život

Vznik života je podmíněn mnoha faktory. Zcela esenciální jsou:

- Přítomnost prvků CHNOPS - složité chemické sloučeniny, živé bytosti složeny až z 99 % z CHNOPS
- Přítomnost rozpouštědla, které umožňuje chemické reakce
- Zdroj energie



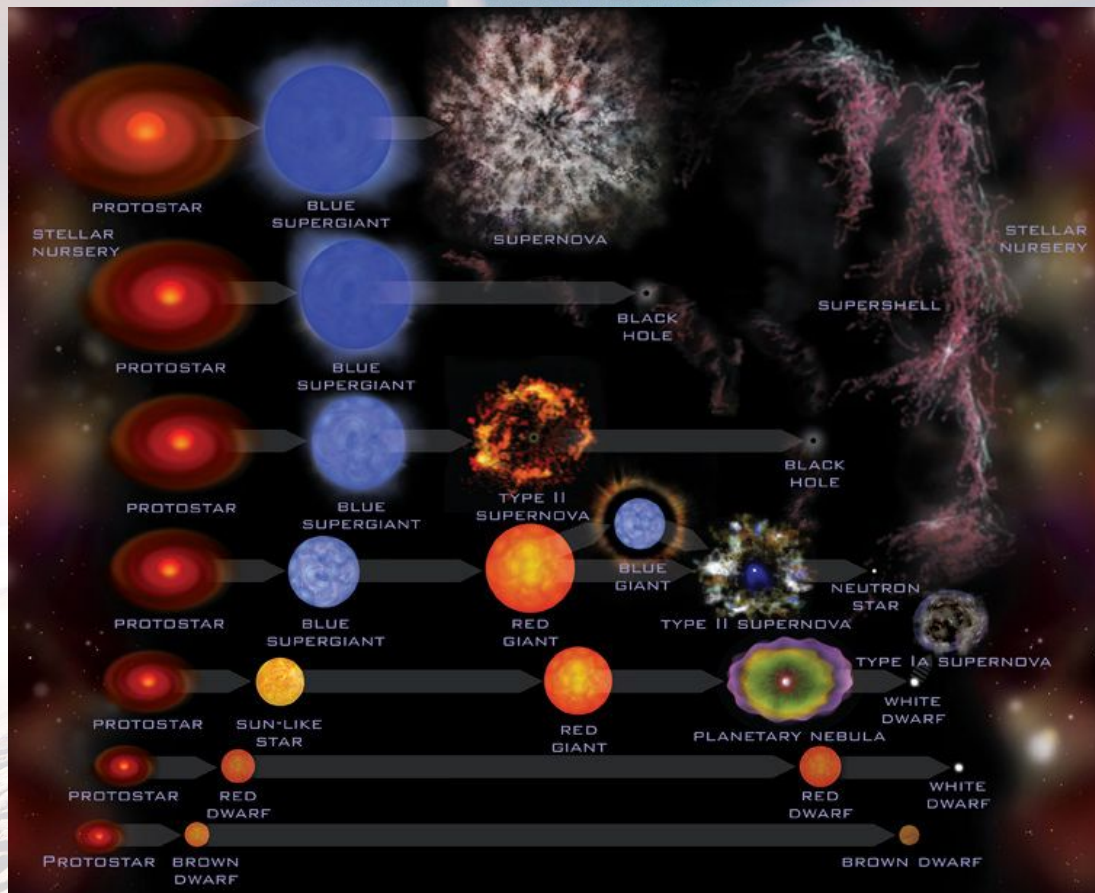
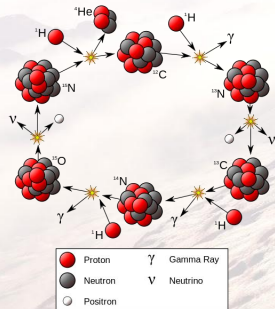
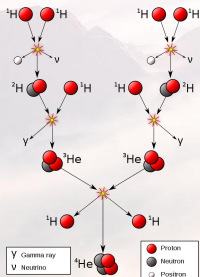
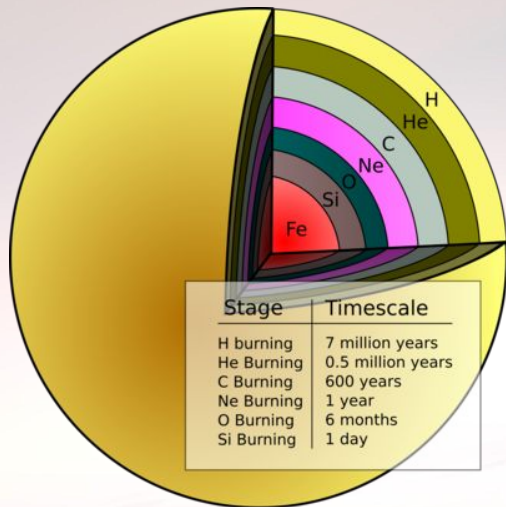
Atom	Hydrogen	Oxygen	Nitrogen	Carbon	Phosphorus	Sulfur
Valence	1	2	3	4	5	2, 6
Model						





# Nukleosyntéza a chemické sloučeniny

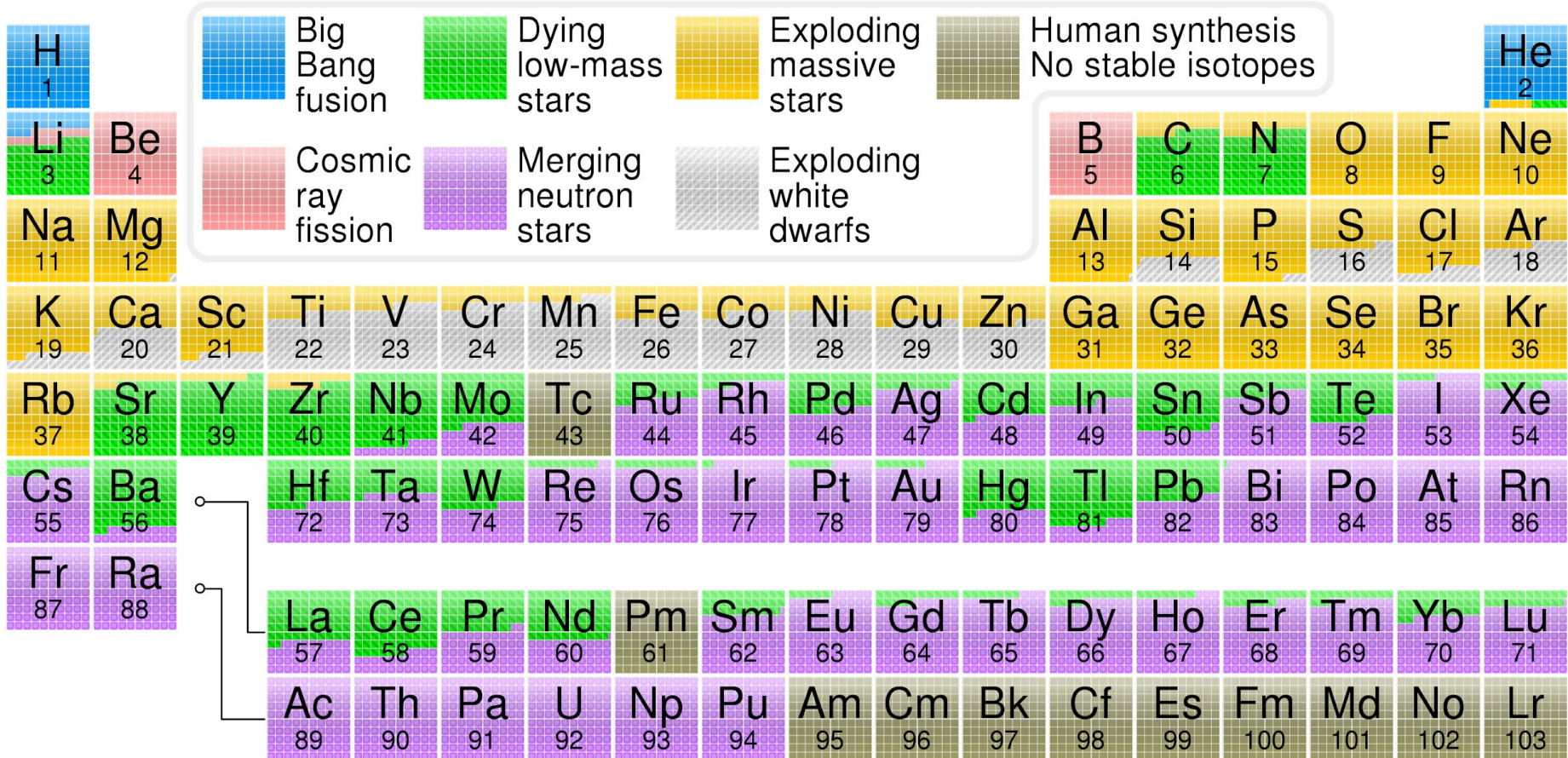
Těžší prvky vznikají ve hvězdách



γ Gamma ray  
 ν Neutrino  
 ● Proton  
 ● Neutron  
 ○ Positron

● Proton  
 ● Neutron  
 ○ Positron  
 γ Gamma Ray  
 ν Neutrino

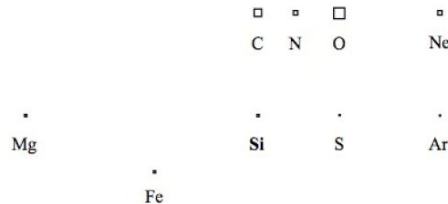
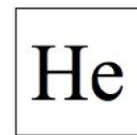
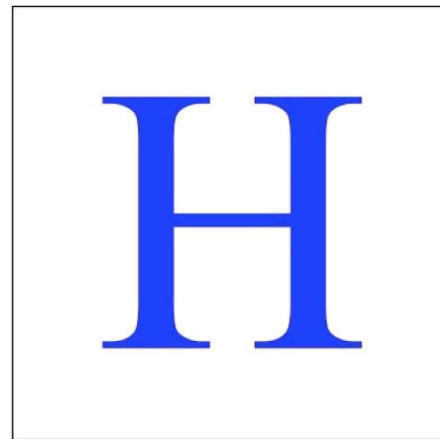
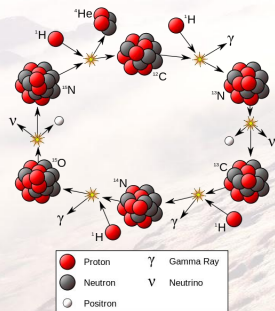
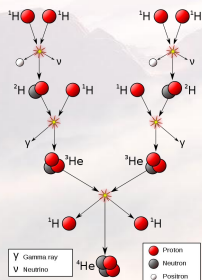
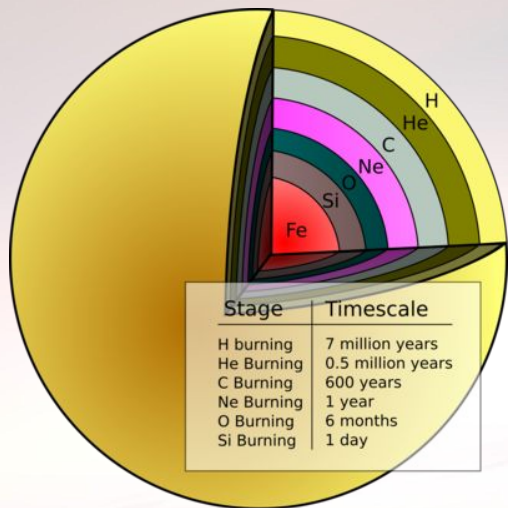
# Nukleosyntéza a chemické sloučeniny





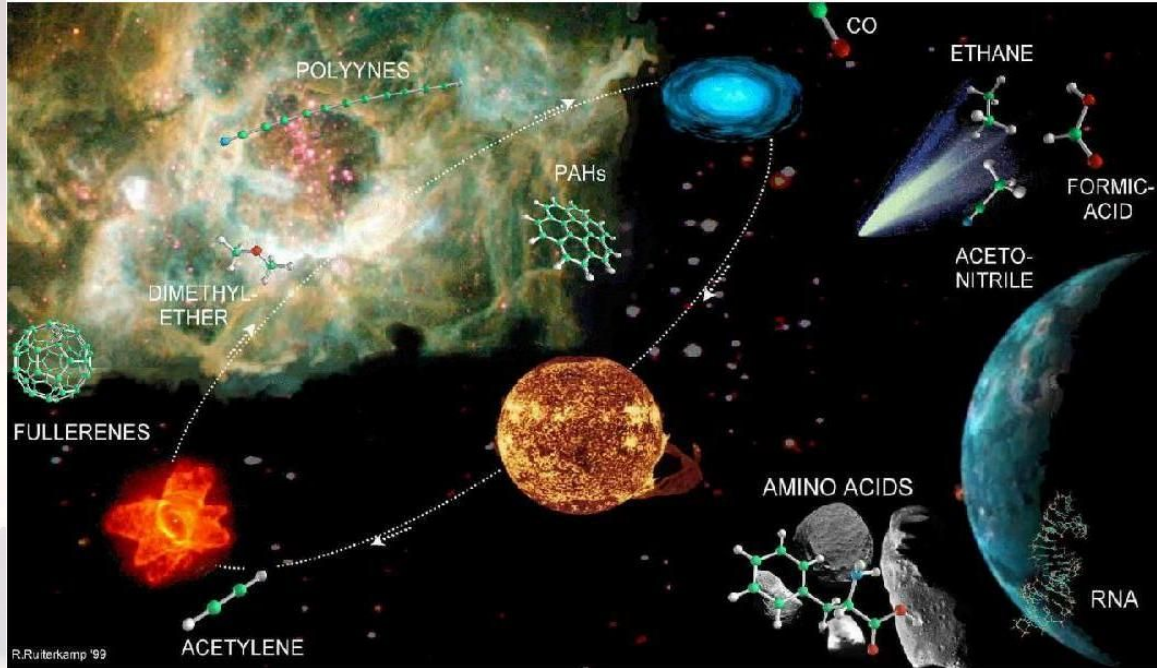
# Nukleosyntéza a chemické sloučeniny

Těžší prvky vznikají ve hvězdách



# Nukleosyntéza a chemické sloučeniny

Ve vesmíru bylo detekováno velké množství organických molekul



[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_interstellar\\_and\\_circumstellar\\_molecules](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_interstellar_and_circumstellar_molecules)

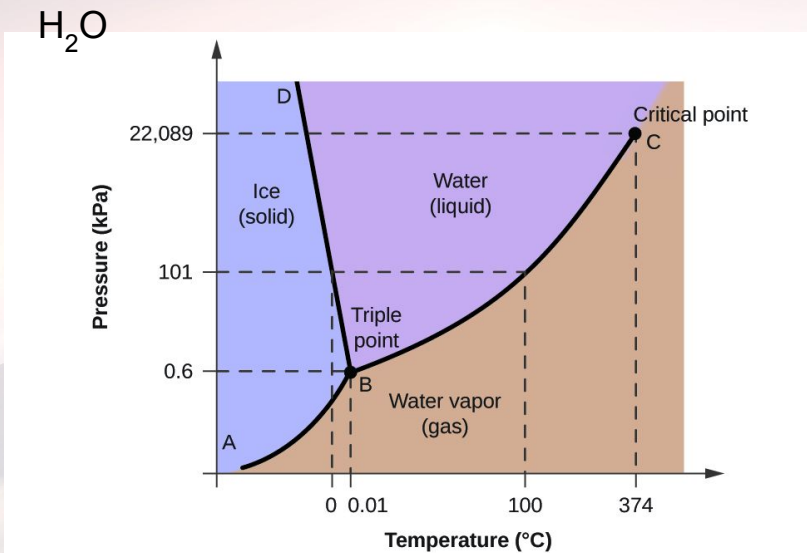


# Astrobiologie a Život

Vznik života je podmíněn mnoha faktory. Zcela esenciální jsou:

- Přítomnost prvků CHNOPS - složité chemické sloučeniny, živé bytosti složeny až z 99 % z CHNOPS
- Přítomnost rozpouštědla, které umožňuje chemické reakce
- Zdroj energie

**Voda:** velká měrná tepelná kapacita, velké skupenské teplo vypařování, hustota ledu menší než vody, velké rozmezí teplot v kapalném skupenství

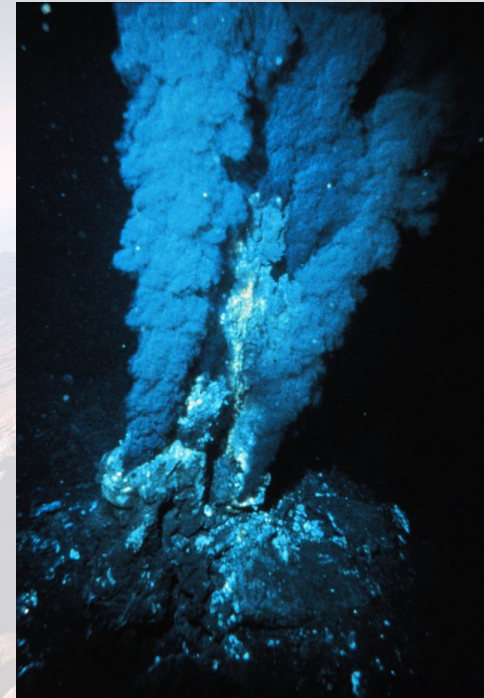
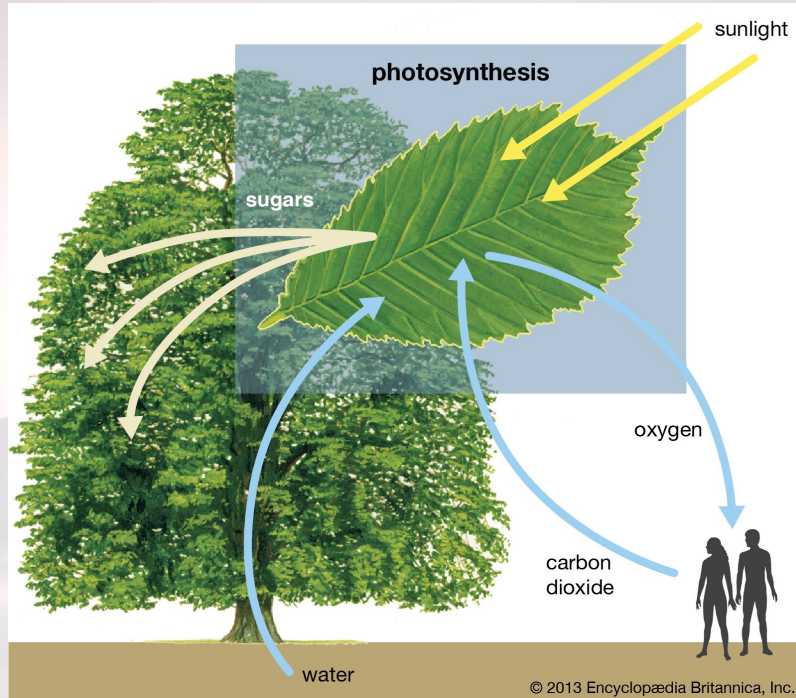


Látka	$T_{\text{kapalina}}$ (K)	$c$ (J.kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	$l_v$ (J.kg <sup>-1</sup> )
H <sub>2</sub> O	273-373	4180	2260
NH <sub>3</sub>	195-240	2200	1370
CH <sub>4</sub>	91-112	1710	480

# Astrobiologie a Život

Vznik života je podmíněn mnoha faktory. Zcela esenciální jsou:

- Přítomnost prvků CHNOPS - složité chemické sloučeniny, živé bytosti složeny až z 99 % z CHNOPS
- Přítomnost rozpouštědla, které umožňuje chemické reakce
- Zdroj energie



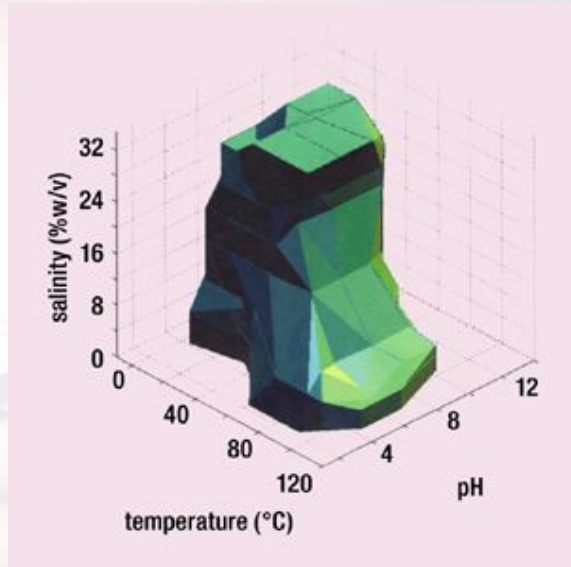


# Život na Zemi

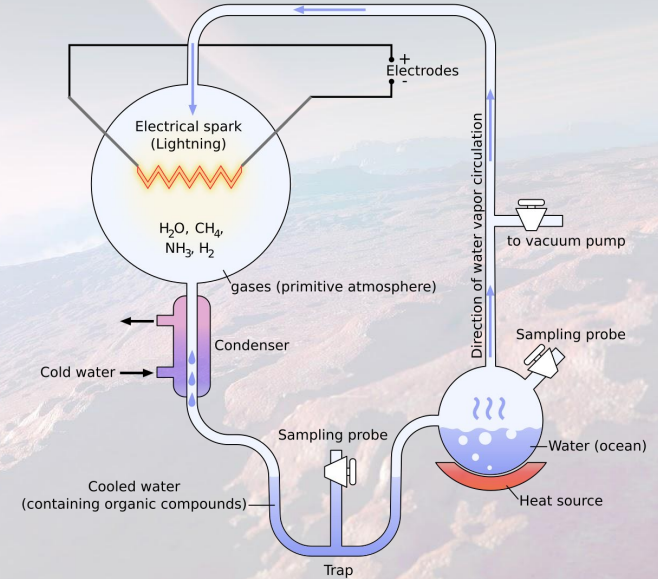
Vznik složitějších sloučenin (panspermie?) => jednobuněčný život (panspermie?) => složitý život

Dlouhodobé vhodné podmínky:

1. Teplota
2. Tlak
3. Salinita
4. Radiace
5. Kyselost






Millerův-Ureyův experiment (1952)



Detekovali vznik aminokyselin

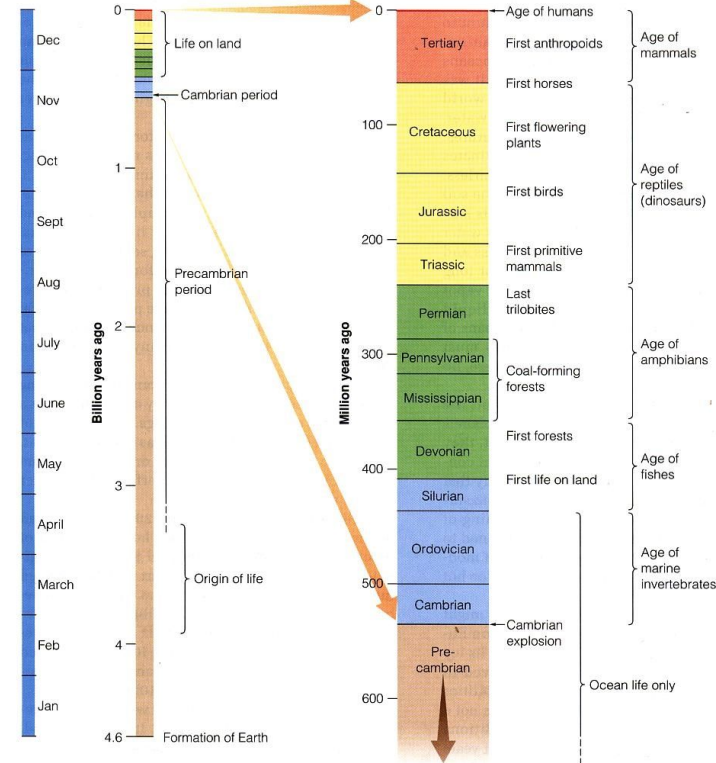
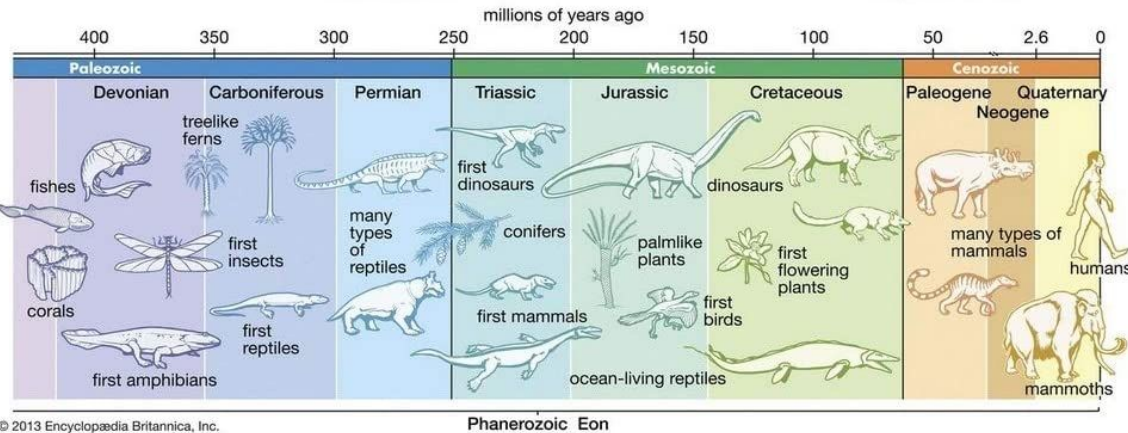
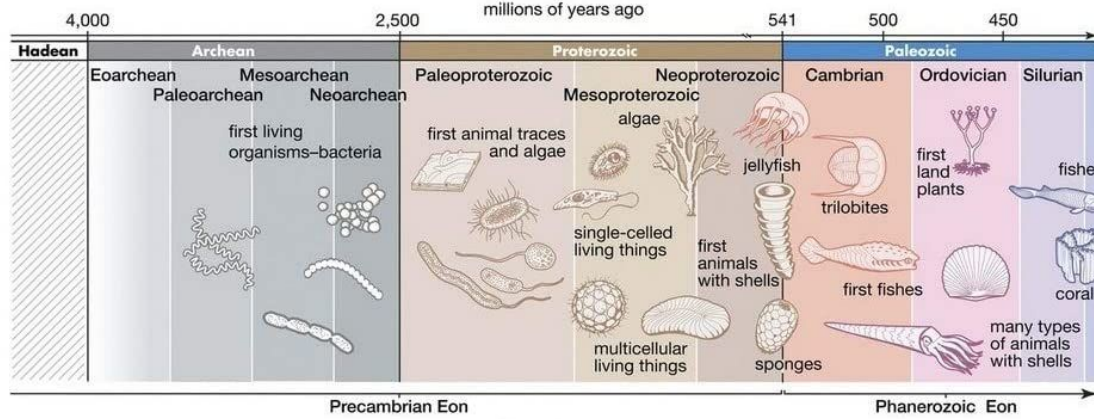
# Extremofilní organizmy

Strain	Domain	Extremophile type	Isolation ecosystem	Temperature (°C)	pH	Pressure (MPa)	Salinity (%)	References
<i>Acidianus infernus</i> So4a	Archaea	Acidothermophile	Solfatara crater	65–96 (90)	1–5.5 (2)	na	0.2 (na)	Segerer et al., 1986
<i>Colwellia piezophila</i> ATCC BAA-637	Bacteria	Piezopsychrophile	Deep-sea	4–15 (10)	7 (na)	40–80 (60)	na (3)	Nogi et al., 2004
<i>Halomonas campisalis</i> MCM B-365	Bacteria	Hyperalkaliphile	Soda lake	4–50 (30)	6–12 (9.5)	na	1.1–26.3 (8.9)	Aston and Peyton, 2007
<i>Oceanobacillus iheyensis</i> HTE831	Bacteria	Alkaliphile, piezotolerant, and halotolerant	Deep-sea (mud)	15–42 (30)	6.5–10 (7–9.5)	0.1–30	0–21 (3)	Lu et al., 2001
<i>Anoxybacillus pushchinensis</i> K1	Bacteria	Alkalithermophile	Manure	37–66 (62)	8–10.5 (9.5)		<3 (na)	Pikuta et al., 2000
<i>Actinopolyspora righensis</i> H23	Bacteria	Halophile	Saline soil	20–40 (28–32)	5–8 (6–7)		10–30 (15–25)	Meklat et al., 2013
" <i>Geothermobacterium ferrireducens</i> " FW-1a	Bacteria	Hyperthermophile	Obsidian Pool, Yellowstone National Park	65–100 (85)	na		0 (na)	Kashefi et al., 2002
<i>Shewanella piezotolerans</i> WP3	Bacteria	Piezophile	Deep-sea	0–28 (15–20)	6–8 (7)	0.1–50 (20)	1–7.2 (3–4)	Xiao et al., 2007
<i>Colwellia</i> sp. MT-41	Bacteria	Piezopsychrophile	Deep-sea	2 (na)	6.8 (na)	51.8–103.5 (69)	na	Yayanos et al., 1981
<i>Pedobacter arcticus</i> A12	Bacteria	Psychrophile	Tundra (soil)	4–25 (18)	6–9 (7)	na	0–2 (0)	Zhou et al., 2012
<i>Thermococcus gammatolerans</i> EJ3	Archaea	Thermophile and radiation-tolerant	Hydrothermal vent (chimney)	55–95 (88)	na (5.5–6.5)	na	(20)	Jolivet et al., 2003
<i>Deinococcus radiodurans</i> R1		Vacuum- and radiation-tolerant	Spoiled canned meat					Mars-like conditions, vacuum, UV and space radiation De Vera et al., 2012
<i>Cryomyces antarcticus</i> MA5682	Fungi	Vacuum- and radiation-tolerant	Antarctica					Mars-like conditions, vacuum, UV and space radiation
<i>Deinococcus geothermalis</i> DSM 11300	Bacteria	Xerotolerant	Hot spring	30–55 (47)	5–8 (6.5)	na	na	
<i>Halobacterium salinarum</i> NRC-1	Archaea	Xerotolerant, vacuum- and radiation-tolerant	Bore core from a salt mine	42 (na)	na	na	25	



# Život na Zemi

Vznik složitějších sloučenin (panspermie?) => jednobuněčný život (panspermie?) => složitý život



# Život na Zemi

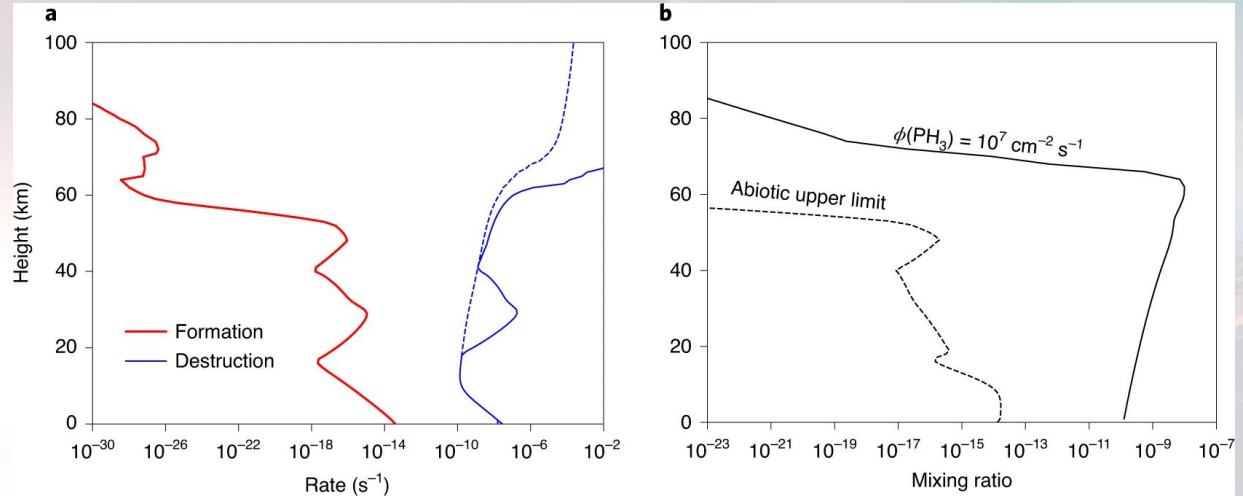
Vznik složitějších sloučenin (panspermie?) => jednobuněčný život (panspermie?) => složitý život

Země je jediné místo ve Vesmíru, kde známe  
(inteligentní) život





# Život ve Sluneční soustavě?



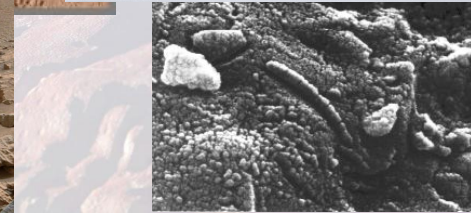
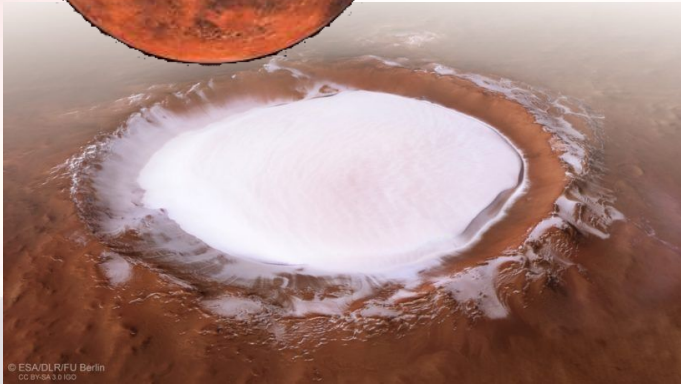
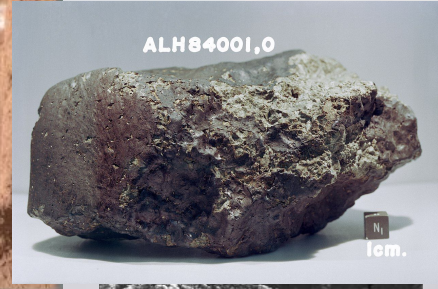
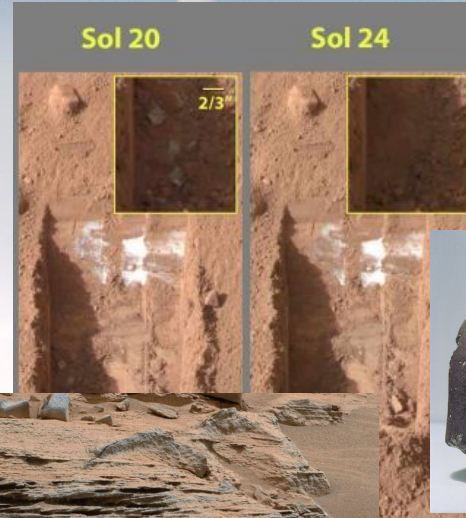
Greaves et al. 2020, Nature Astronomy, 234

Detekce fosfanu (PH<sub>3</sub>) v atmosféře Venuše

- neznáme jiný než biogenní proces, který by v daných podmínkách mohl vést ke vzniku fosfanu.

-bakterie syntetizující sloučeniny síry?

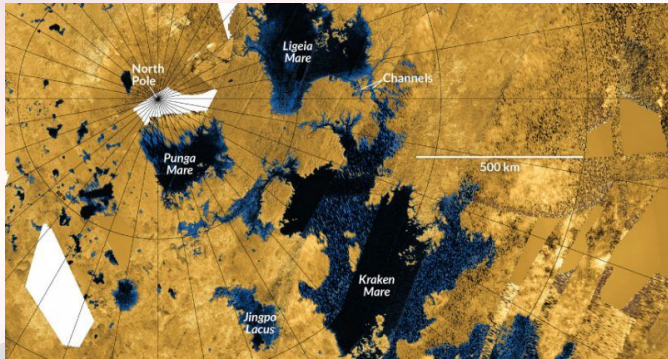
# Život ve Sluneční soustavě?



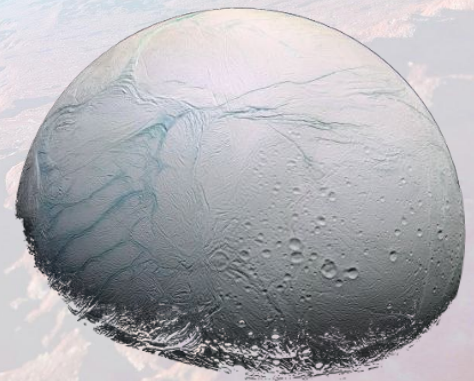
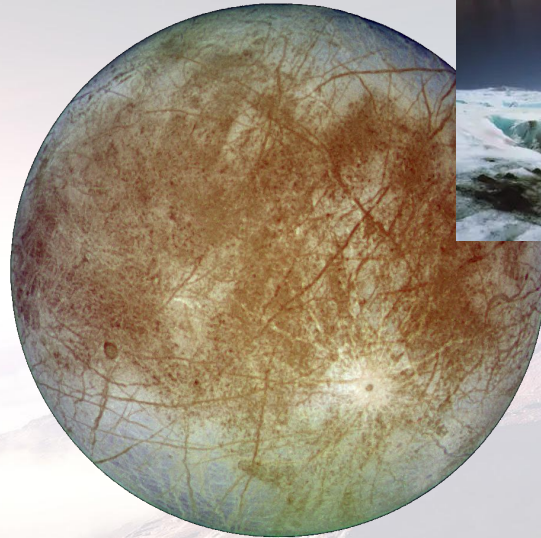
Mars má příliš řídkou atmosféru, aby udržela vodu v kapalném skupenství. V minulosti se tekutá voda na Marsu zřejmě vyskytovala, v současnosti pouze v podobě ledu v povrchových a podpovrchových vrstvách.



# Život ve Sluneční soustavě?



Uhlovodíky na Titanu



Předpoklad oceánů pod ledovou krustou na Europě a Enceladu

# Život ve Sluneční soustavě?



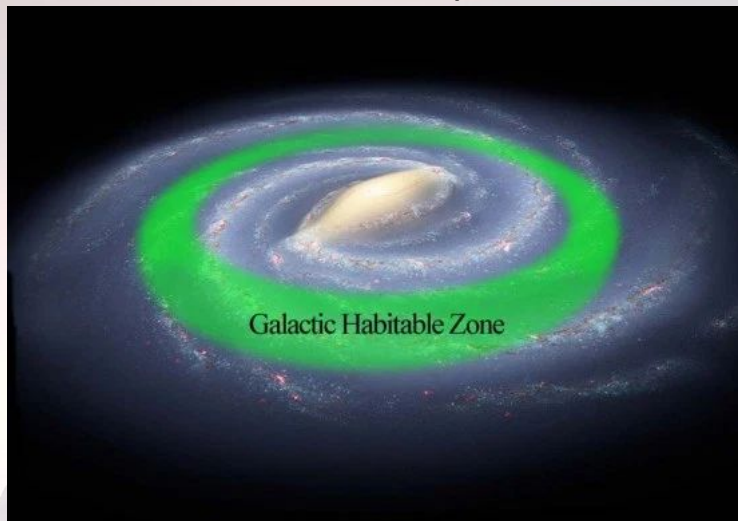
Saganovi plavci a lovci v atmosféře Jupiteru?



# Co umožnilo vznik života na Zemi

## 1. Poloha v Galaxii

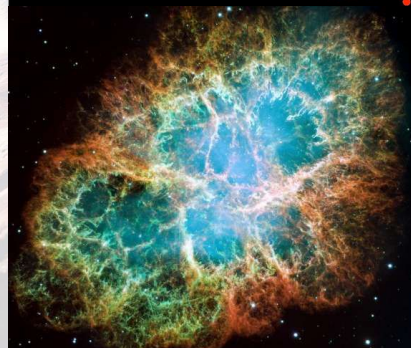
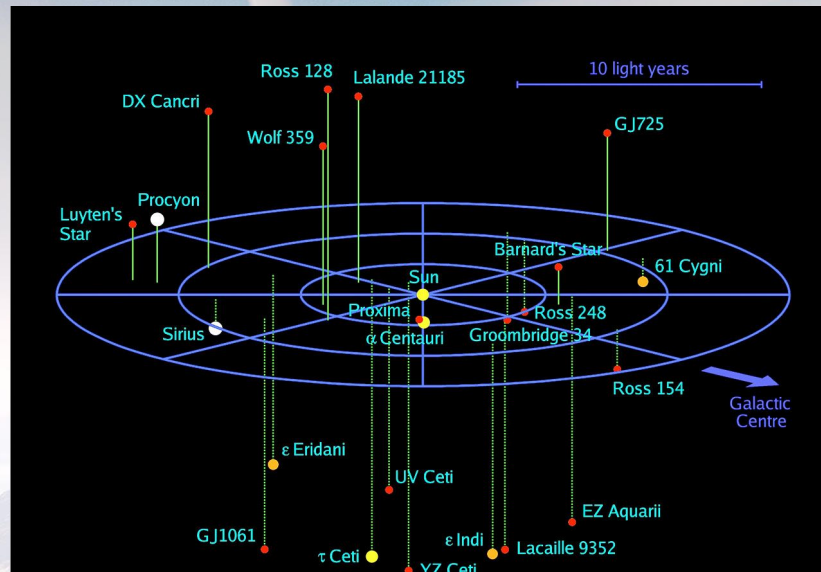
- Minimální vliv okolních hvězd
- Dostatek těžších prvků



Vznik života v kulových hvězdokupách?

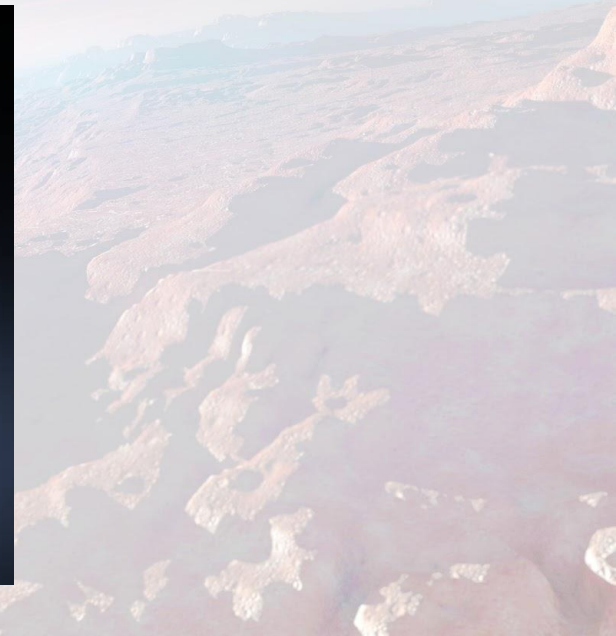
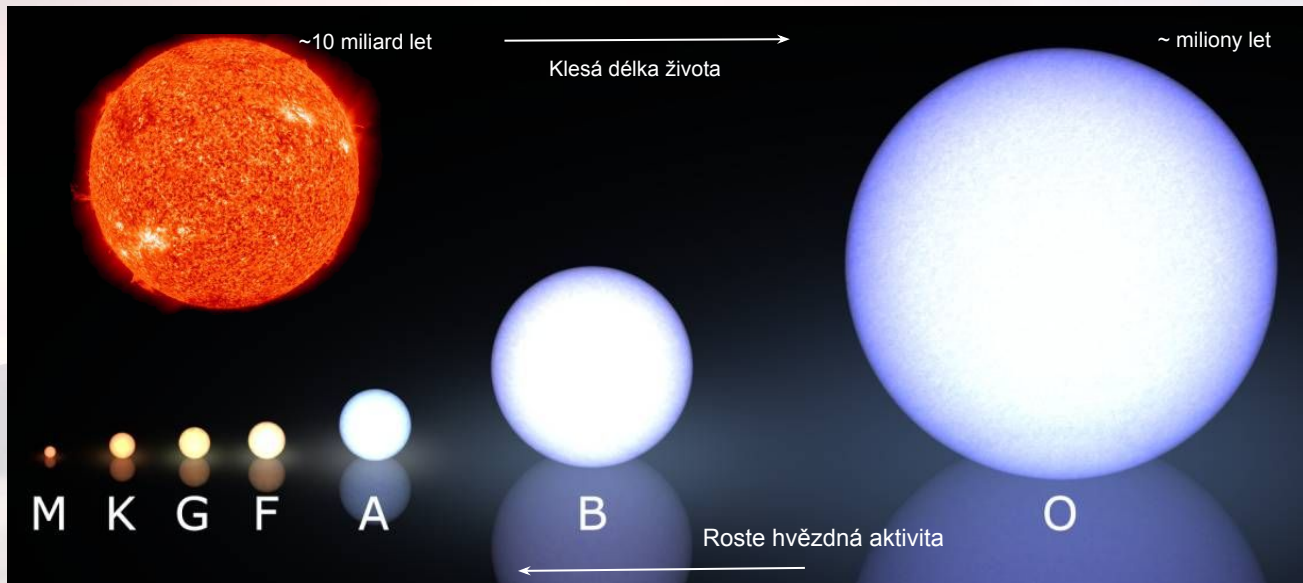
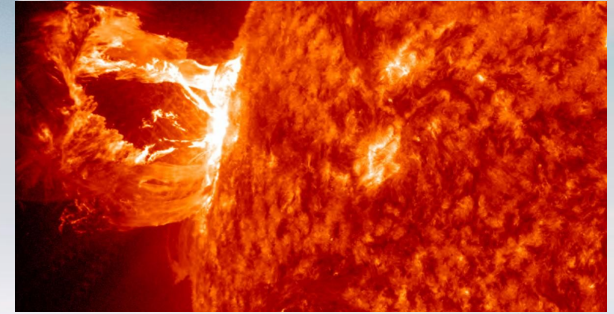


Větší pravděpodobnost života v eliptických galaxiích?



# Co umožnilo vznik života na Zemi

1. Poloha v Galaxii
2. Vlastnosti Slunce
  - a. Klidná, nepříliš aktivní hvězda
  - b. Dlouhodobě stabilní
  - c. Ideální stáří



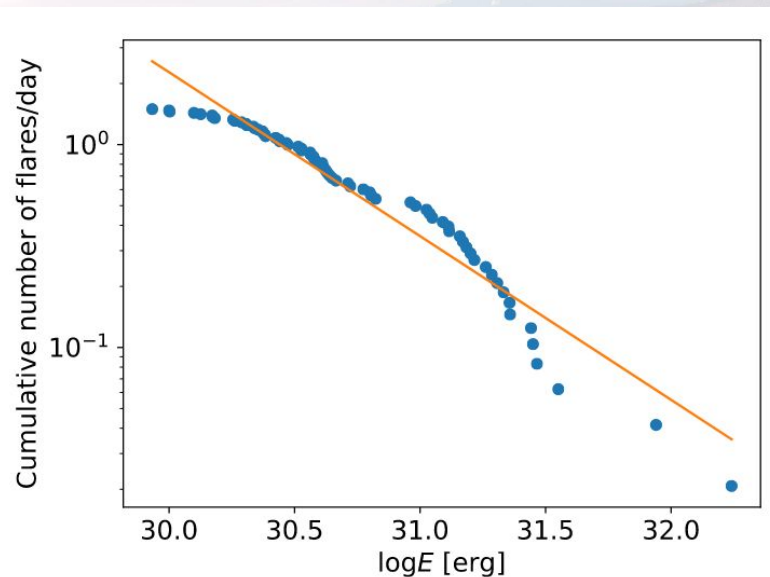
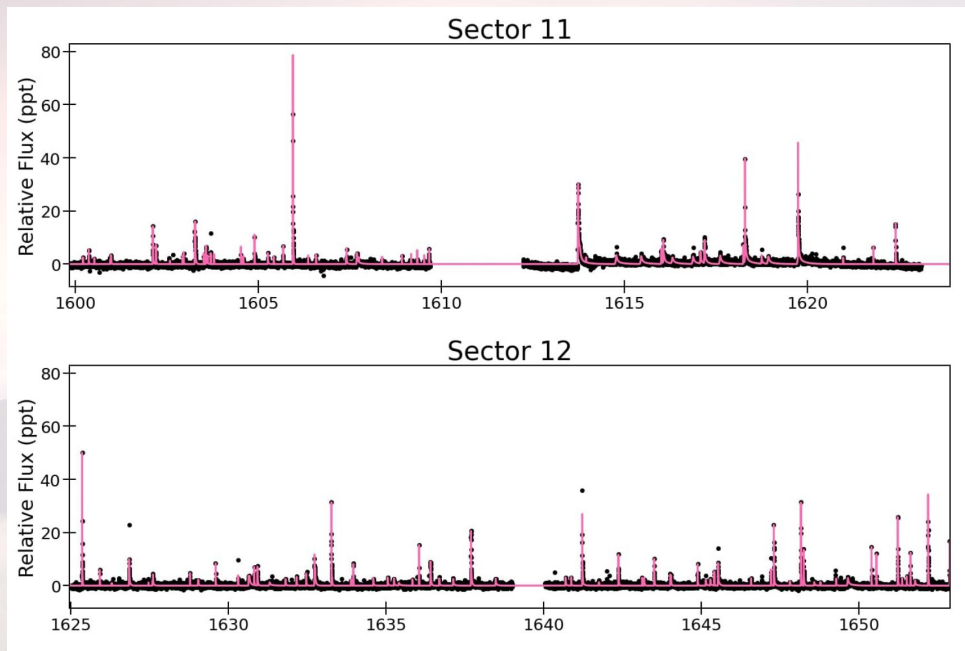


# Co umožnilo vznik života na Zemi

1. Poloha v Galaxii
2. Vlastnosti Slunce
  - a. Klidná, nepříliš aktivní hvězda
  - b. Dlouhodobě stabilní
  - c. Ideální stáří

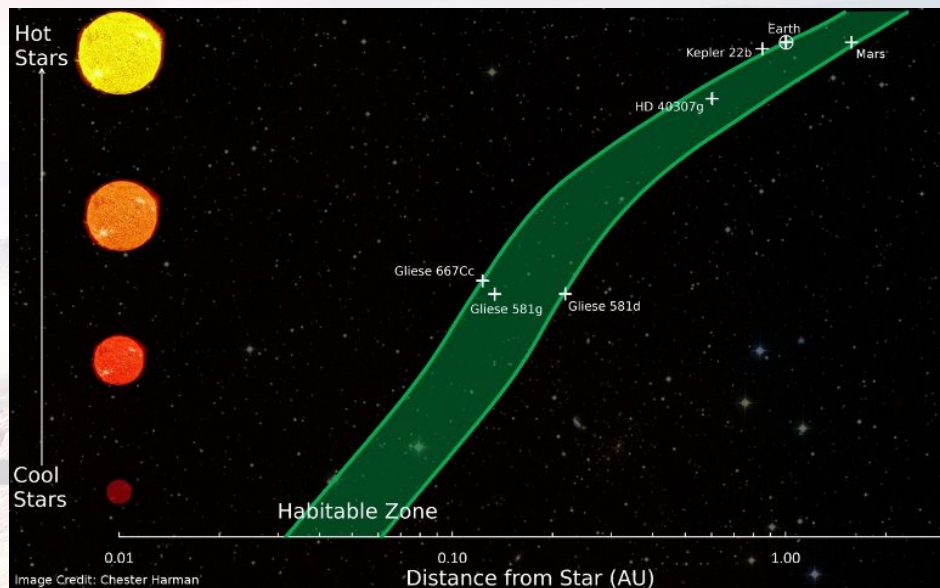
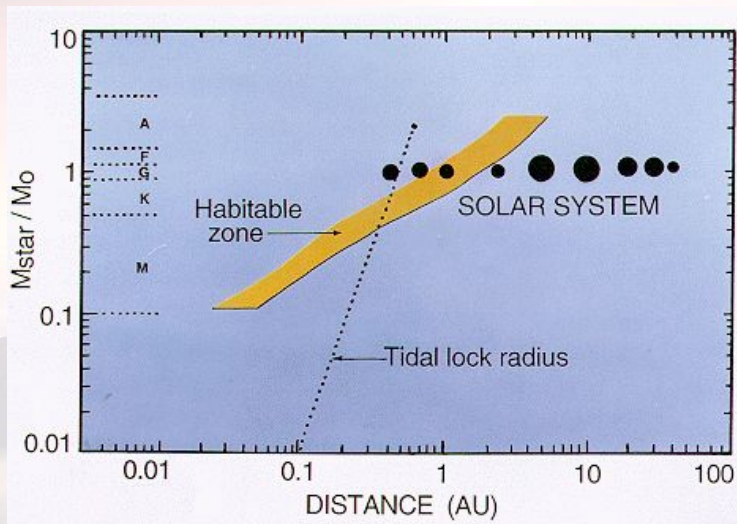
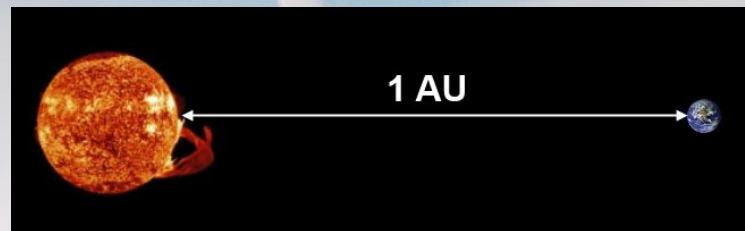
Gilbert et al. 2021, [arXiv:2110.10702](https://arxiv.org/abs/2110.10702) -  
Nedetekce tranzitu u Proximy Cen b

Vida et al. 2019, ApJ, 884, 160, erupce po  
7 % času, energie  $10^{30-32}$  erg



# Co umožnilo vznik života na Zemi

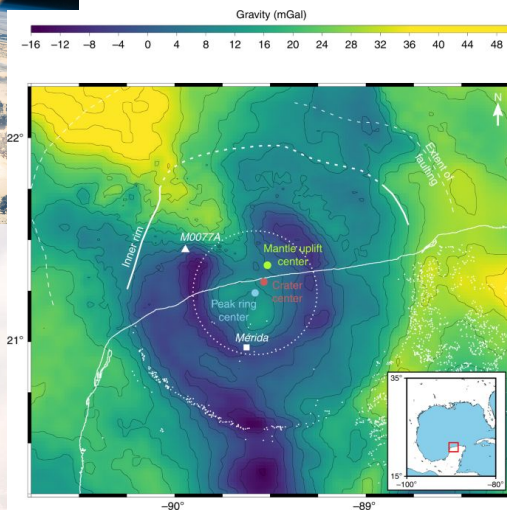
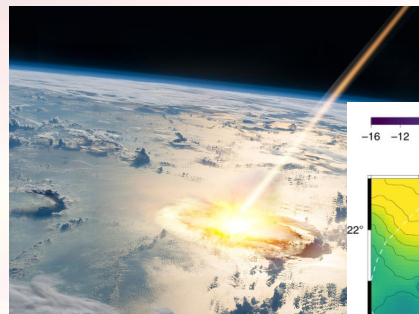
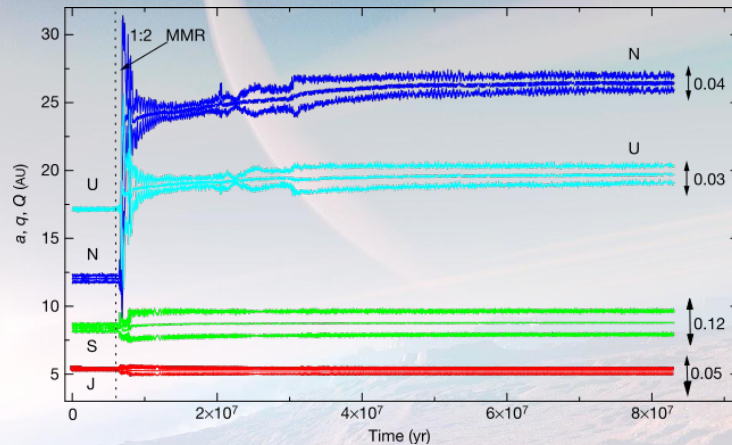
1. Poloha v Galaxii
2. Vlastnosti Slunce
3. Vhodný systém
  - a. Vzdálenost od Slunce a kruhovost dráhy
    - i. Voda v kapalném skupenství
    - ii. Nevázaná rotace





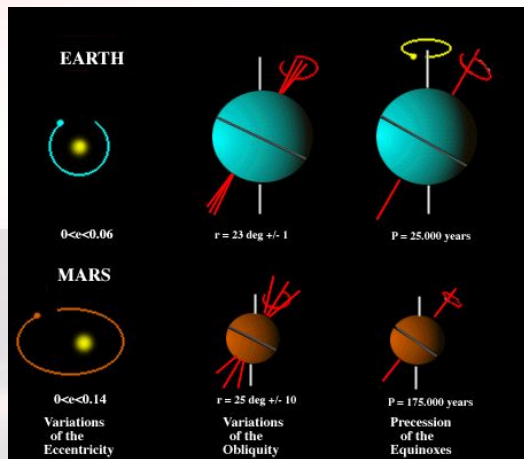
# Co umožnilo vznik života na Zemi

1. Poloha v Galaxii
2. Vlastnosti Slunce
3. Vhodný systém
  - a. Vzdálenost od Slunce a kruhovost dráhy
  - b. Přítomnost velkých planet
    - i. Vyčištění prostoru
    - ii. Destabilizace kometárních jader



# Co umožnilo vznik života na Zemi

1. Poloha v Galaxii
2. Vlastnosti Slunce
3. Vhodný systém
  - a. Vzdálenost od Slunce a kruhovost dráhy
  - b. Přítomnost velkých planet
  - c. Přítomnost Měsíce
    - i. Stabilizace rotační osy

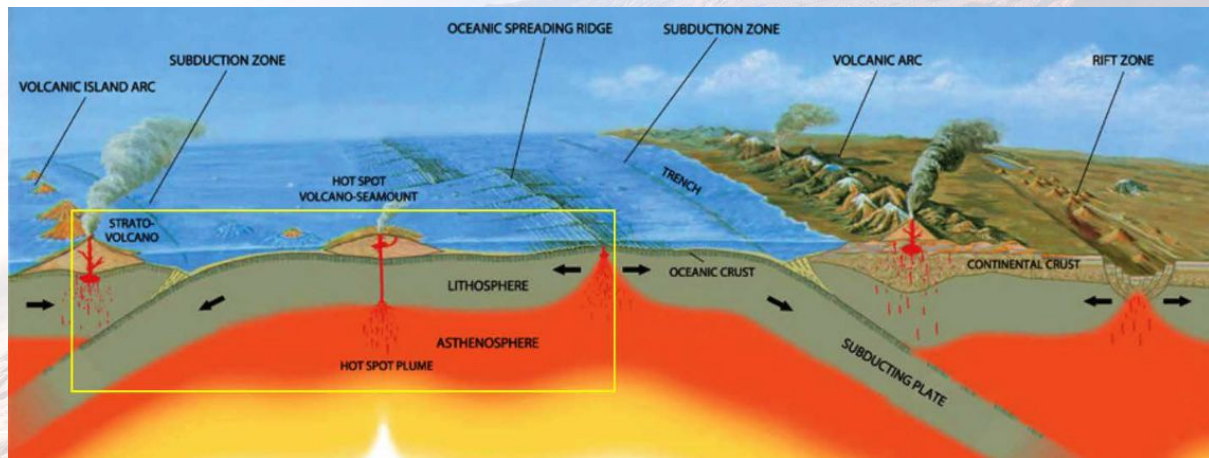
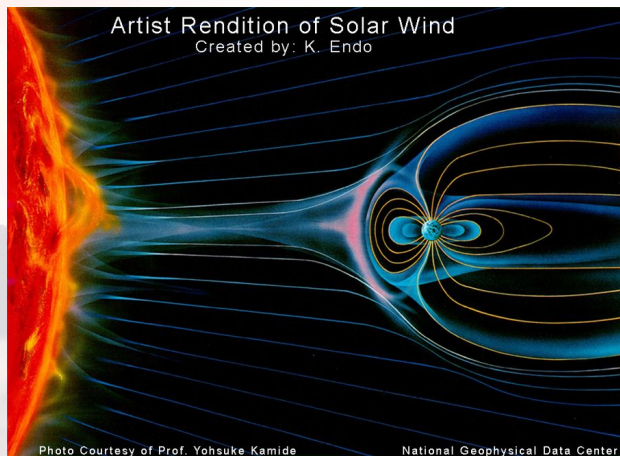
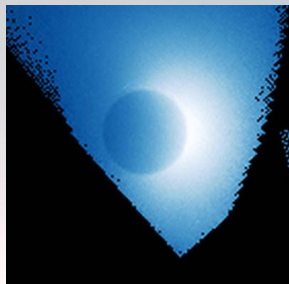


Náraz tělesa velikosti Marsu před 4.5 mld lety



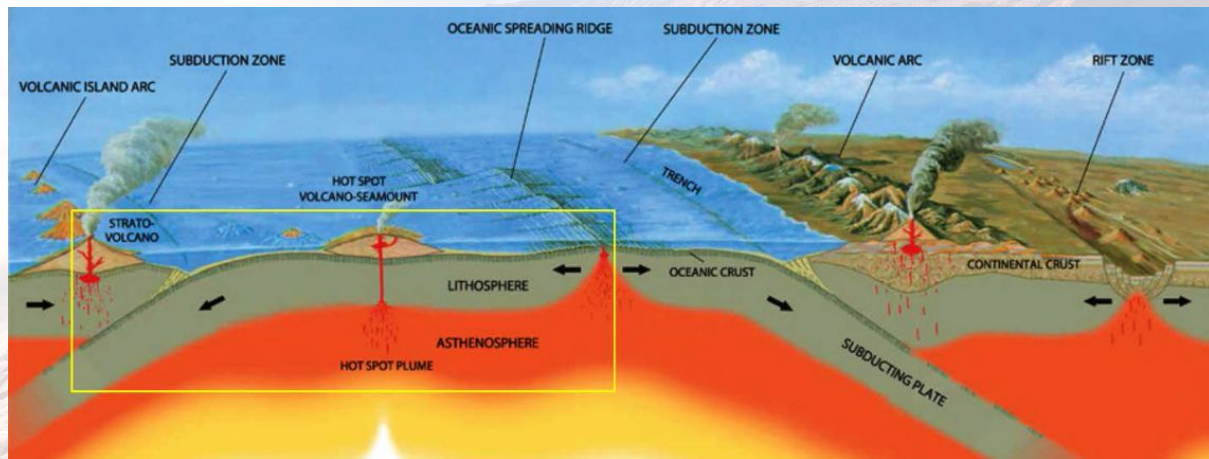
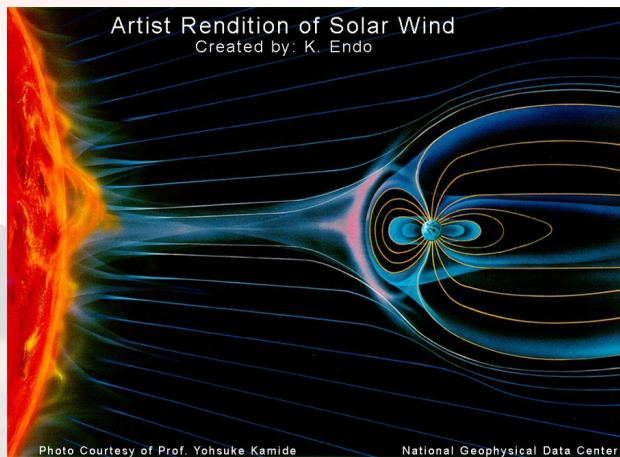
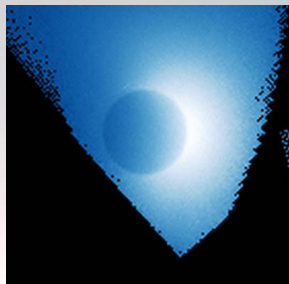
# Co umožnilo vznik života na Zemi

1. Poloha v Galaxii
2. Vlastnosti Slunce
3. Vhodný systém
4. Vlastnosti Země
  - a. Velikost
  - b. Vlastnosti atmosféry
  - c. Přítomnost magnetického pole
  - d. Desková tektonika



# Co umožnilo vznik života na Zemi

1. Poloha v Galaxii
2. Vlastnosti Slunce
3. Vhodný systém
4. Vlastnosti Země
  - a. Velikost
  - b. Vlastnosti atmosféry
  - c. Přítomnost magnetického pole
  - d. Desková tektonika
5. Přítomnost vody





# Exoplanety a život

Kde očekáváme a hledáme život?

1. Hvězdy podobné Slunci (spektrální typ F-K)
2. Planety velikostně srovnatelné se Zemí obíhající v obyvatelných zónách bez vázané rotace
3. Planety na kruhových drahách
4. Planety mající atmosféry

## Direct Imaging

H <sub>2</sub> O	HR 8799b (144), HR 8799c (129), HR 8799d (143), HR 8799e (143), $\kappa$ And b (262), 51 Eri b (222), Gl 570D (152), HD 3651B (152), $\beta$ Pic (54), ULAS 1416 (149)
CH <sub>4</sub>	HR 8799b (14), 51 Eri b (222), GJ 504 (114), GJ 758 B (115), Gl 570D (152), HD 3651B (152), ULAS 1416 (149)
NH <sub>3</sub>	Gl 570D (152), HD 3651B (152), ULAS 1416 (149)
CO	HR 8799b (144), HR 8799c (129)

## High-resolution Doppler Spectroscopy

H <sub>2</sub> O	51 Peg b (25), HD 179949 b (39), HD 189733b (24), HD 209458b (101)
CO	$\tau$ Bootis b (37), HD 209458b (251), 51 Peg b (38), HD 179949 b (39), HD 189733b (219, 40)
TiO	WASP-33b (196)
HCN	HD 209458b (101), HD 189733b (47)
Ti, Fe, Ti+	KELT-9b (106)

## Emission Spectra (Secondary Eclipse)

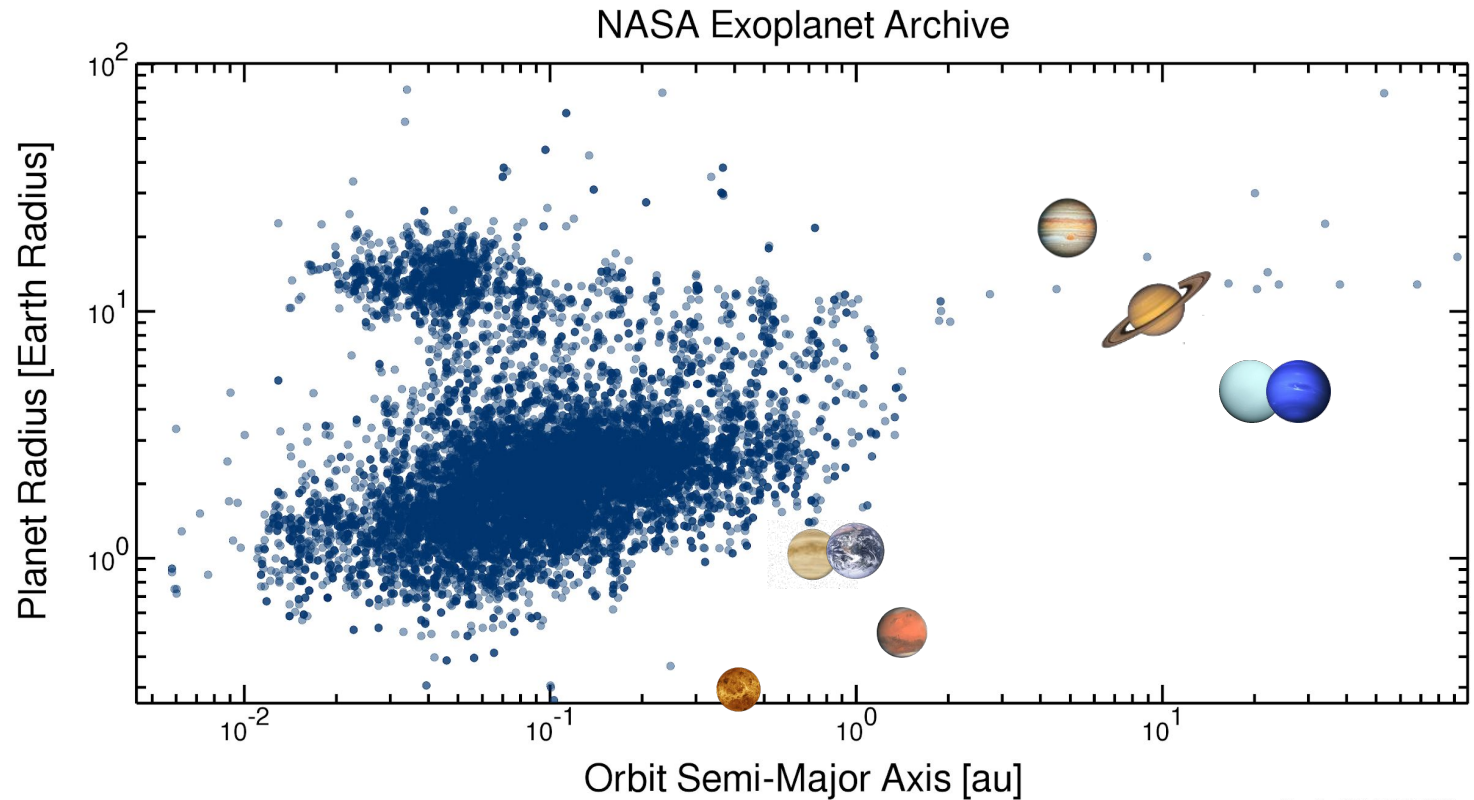
H <sub>2</sub> O	WASP-43b (132), HD 209458b (151), HD 189733b (59), WASP-121b (76), Kepler-13Ab (20), WASP-33b (102)
CO	WASP-18b (236)
VO	WASP-121b (76)
TiO	WASP-33b (102)
HCN	HD 209458b (101)

Biomarkery:

CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, pozitivní (infra)červený exces (>700 nm - vegetace)...

K	WASP-6b (192), WASP-31b (247), WASP-39b (244), WASP-127b (53), HAT-P-12b (244), XO-2b (243), HD 80606b (55)
TiO	WASP-19b (232)
AlO	WASP-33b (273)
H	HD 189733b (116, 33), HD 209458b (272, 116), GJ 436b (71)
He	WASP-107b (253)
C	HD 209458b (270)
O	HD 209458b (270)
Li	WASP-127b (53)
Ca	HD 209458b (8)
Sc	HD 209458b (8)
Mg	WASP-107b (271), WASP-12b (83)
Si	HD 209458b (223)
Transmission Spectra (Primary Eclipse)	
Chemical Species	Planet (References)
H <sub>2</sub> O	HD 189733b (178), HD 209458b (63), WASP-12b (133), WASP-17b (171), WASP-19b (112), WASP-39b (276), WASP-43b (132), WASP-52b (266), WASP-63b (123), WASP-69b (266), WASP-76b (266), WASP-121b (77), HAT-P-1b (275), HAT-P-11b (84), HAT-P-18b (266), HAT-P-26b (277), HAT-P-32b (60), HAT-P-41b (266), XO-1b (63)
Na	HD 189733b (214), HD 209458b (50), WASP-17b (244), WASP-39b (194), WASP-52b (52), WASP-69b (48), WASP-96b (193), WASP-127b (53), HAT-P-1b (195), XO-2b (245)

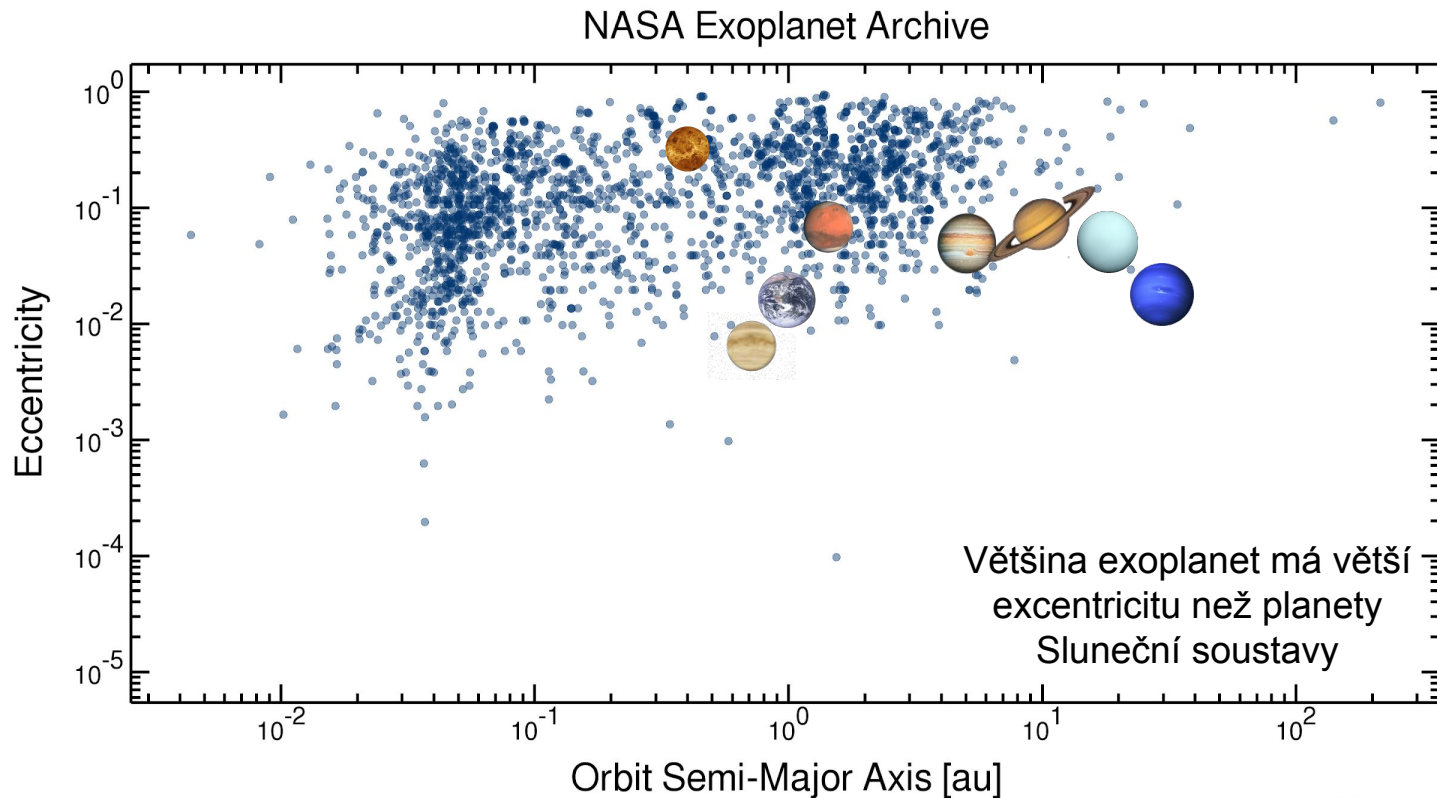
# Exoplanety a život



Tue Oct 13 04:13:37 2020

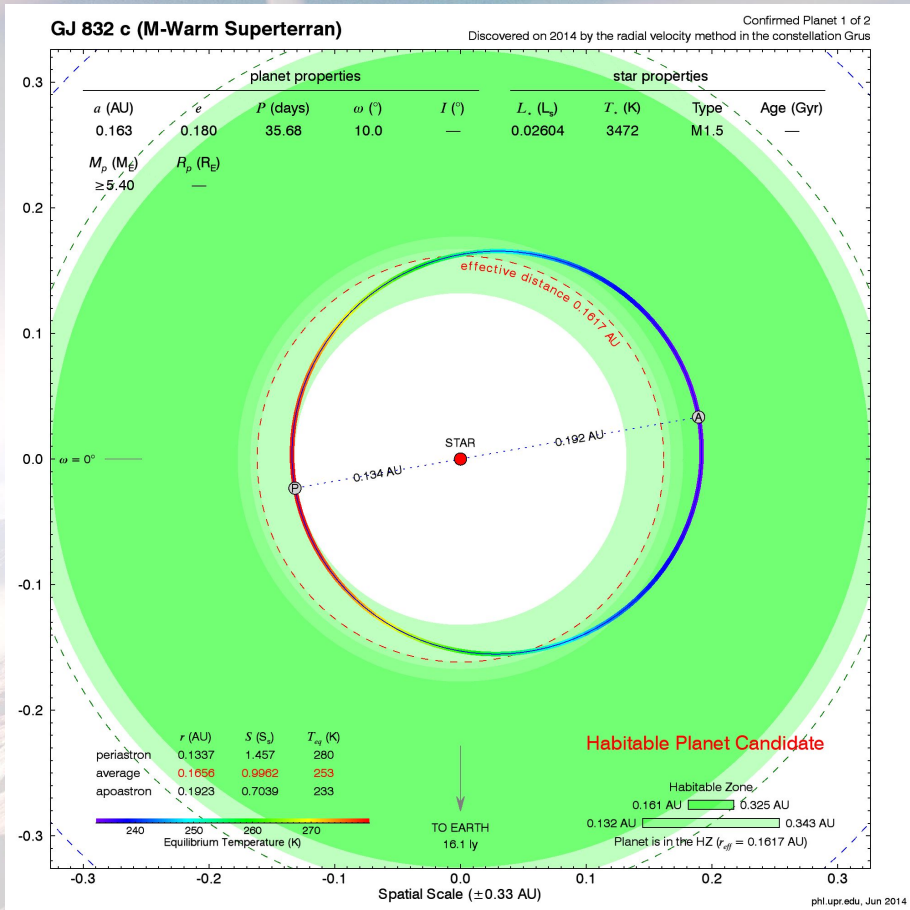
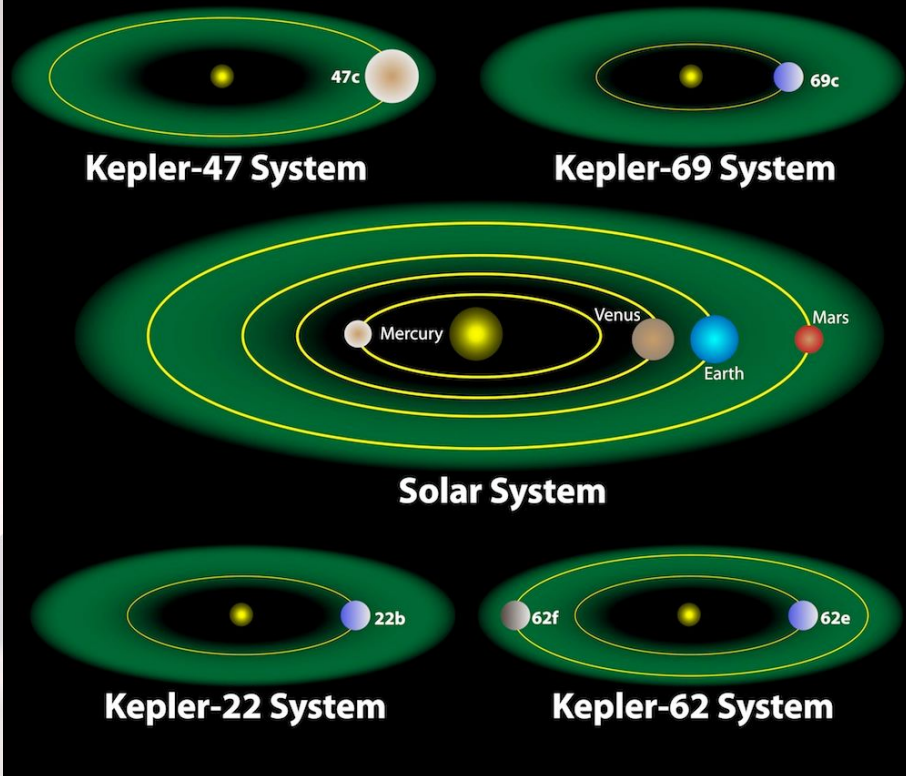


# Exoplanety a život



# Exoplanety a život

## Habitable Zone



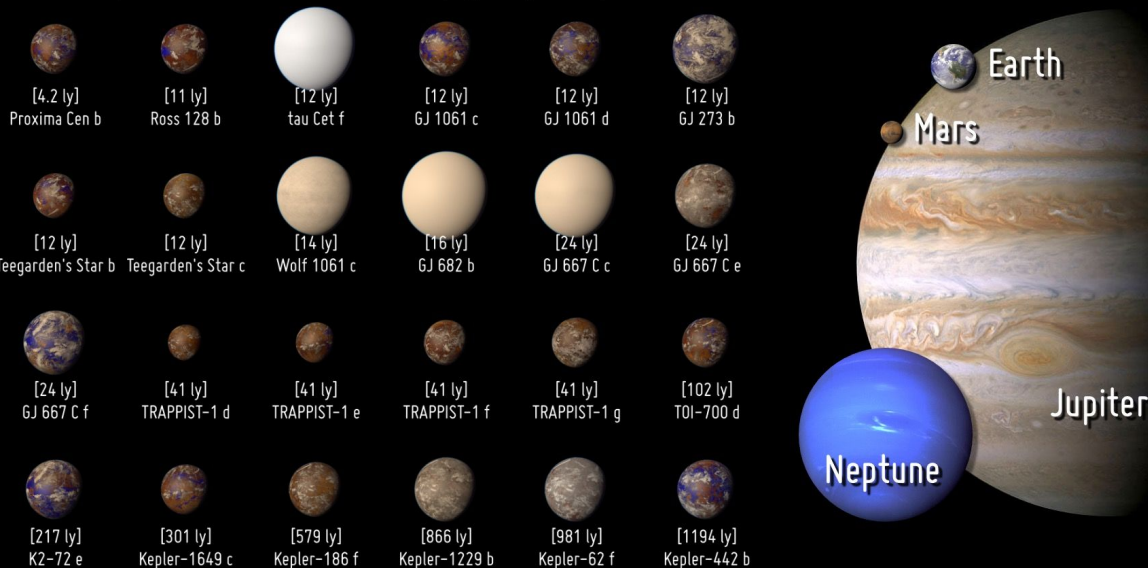


# Exoplanety a život

## Potentially Habitable Exoplanets



Ranked by Distance from Earth (light years)



Artistic representations. Earth, Mars, Jupiter, and Neptune for scale. Distance from Earth is between brackets.

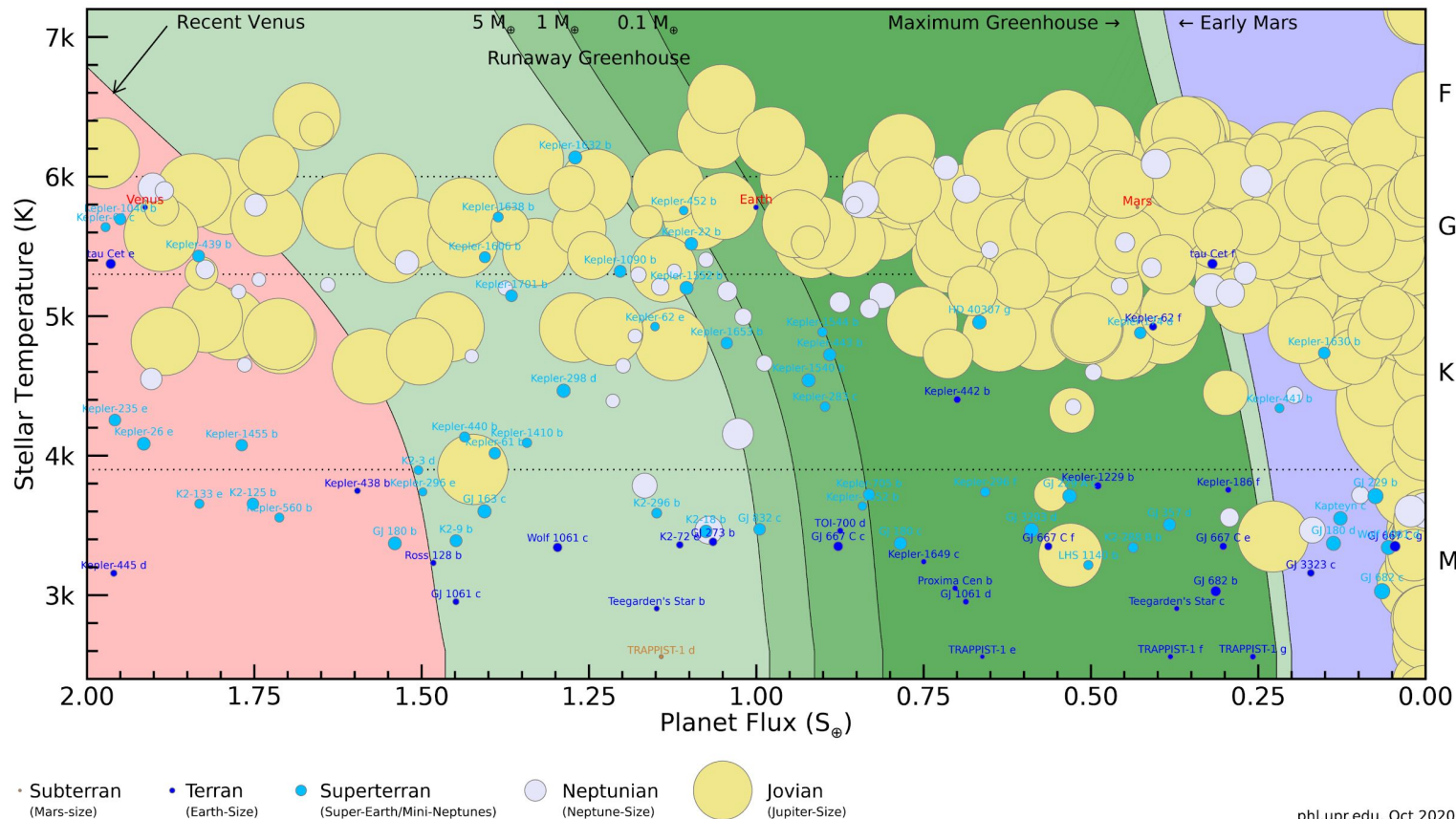
CREDIT: PHL @ UPR Arcicbo (phl.upr.edu) Oct 5, 2020

Subterranean (Mars-size)	Terran (Earth-size)	Superterran (Super-Earths or Mini-Neptunes)	Total
<b>1</b>	<b>23</b>	<b>36</b>	<b>60</b>

subterranean = 0.1 – 0.5 M<sub>E</sub> or 0.4 – 0.8 R<sub>E</sub>, terran = 0.5 – 5 M<sub>E</sub> or 0.8 – 1.5 R<sub>E</sub>, superterran = 5 – 10 M<sub>E</sub> or 1.5 – 2.5 R<sub>E</sub>, M<sub>E</sub> = Earth masses,

<http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog>

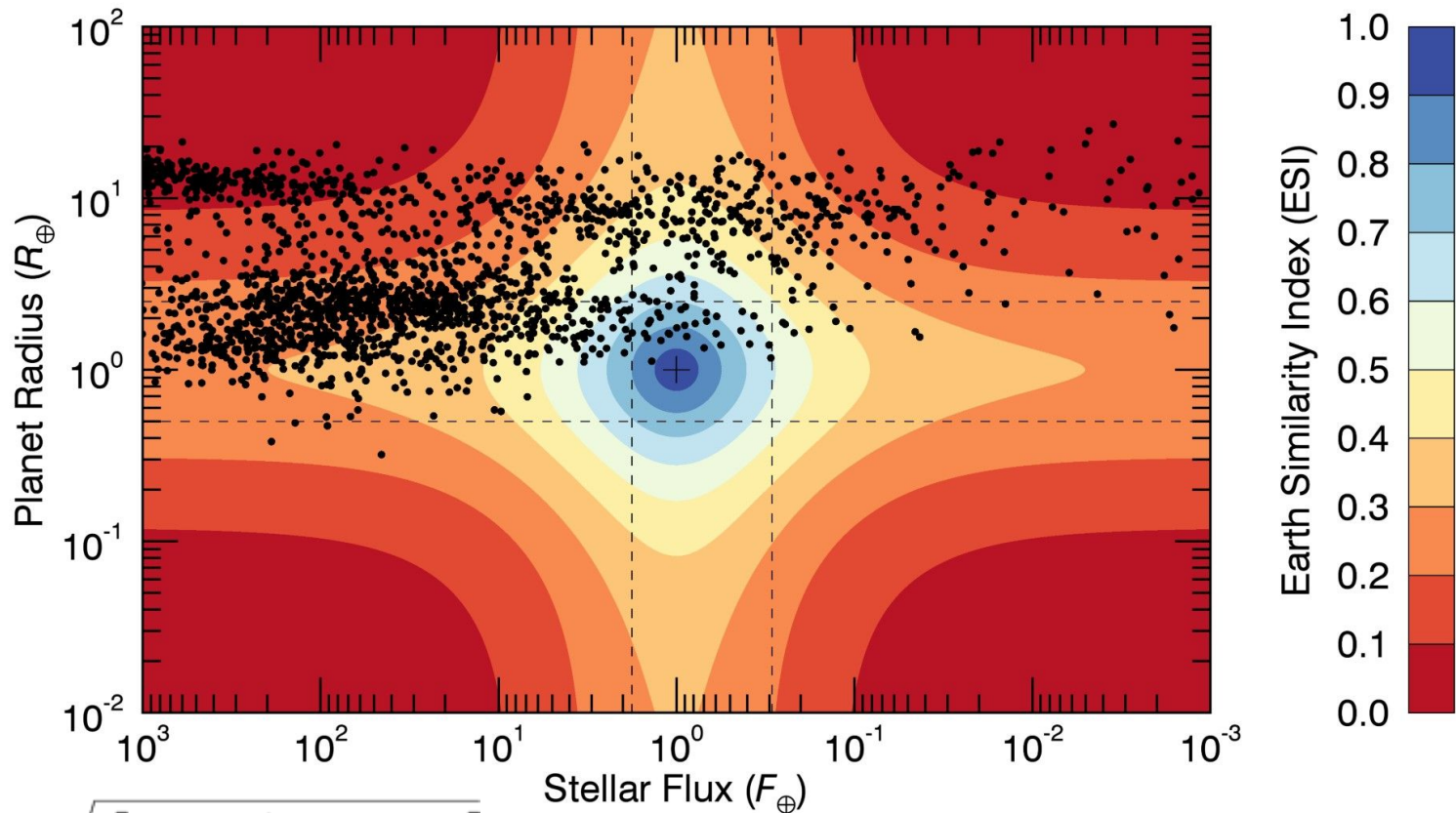
# Exoplanety a život



phl.upr.edu, Oct 2020



# Exoplanety a život



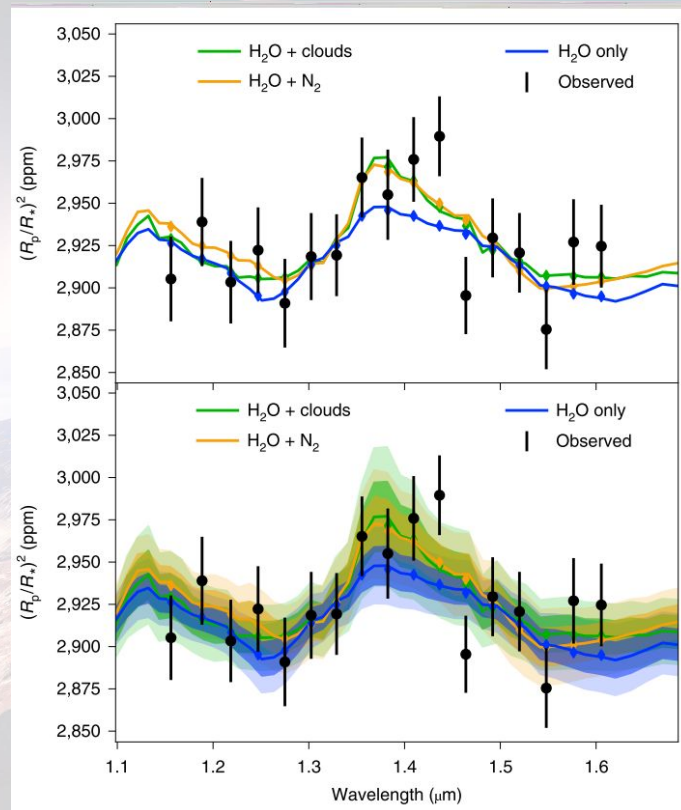
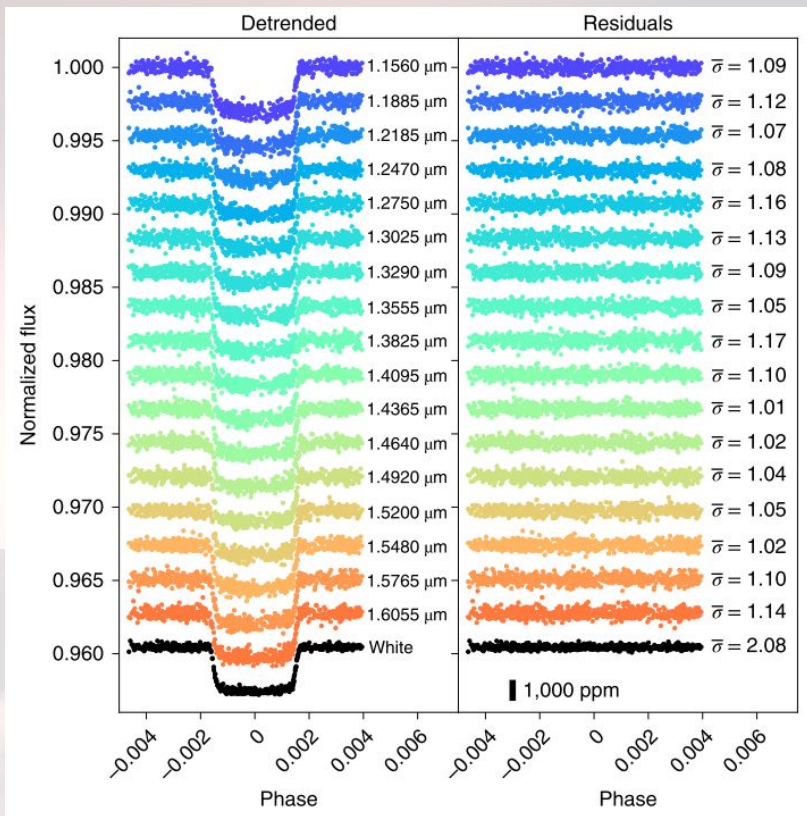
$$ESI(S, R) = 1 - \sqrt{\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{S - S_{\oplus}}{S + S_{\oplus}} \right)^2 + \left( \frac{R - R_{\oplus}}{R + R_{\oplus}} \right)^2 \right]}$$

Index podobnosti Zemi

# Exoplanety a život

K2-18b;  $R_p = 2.279 \pm 0.0026 R_{\oplus}$   $M_p = 7.96 \pm 1.91 M_{\oplus}$

Tsiaras et al. 2019, Nature Astronomy, 3, 1086





# Hledání mimozemského života

Odhady naznačují, že až 1.8 % hvězd slunečního typu má planetu o velikosti 0.75-1.5  $R_z$ , která obíhá v obyvatelné zóně (Kunimoto&Matthews, 2020, AJ, 159, 6)

V Galaxii je přibližně 400 miliard hvězd, zhruba 8 % z toho jsou spektrálního typu G



# Hledání mimozemského života

Odhady naznačují, že až 1.8 % hvězd slunečního typu má planetu o velikosti 0.75-1.5  $R_z$ , která obíhá v obyvatelné zóně (Kunimoto&Matthews, 2020, AJ, 159, 6)

V Galaxii je přibližně 400 miliard hvězd, zhruba 8 % z toho jsou spektrálního typu G

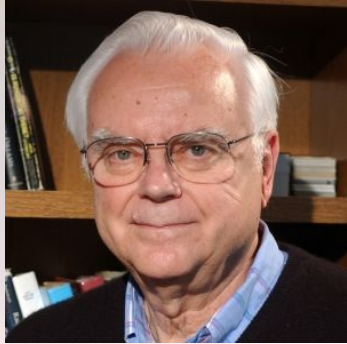


Nejméně 580 miliónů druhých Zemí v Galaxii!!!

Ve viditelném Vesmíru  $\sim 10^{20}$  terestrických planet

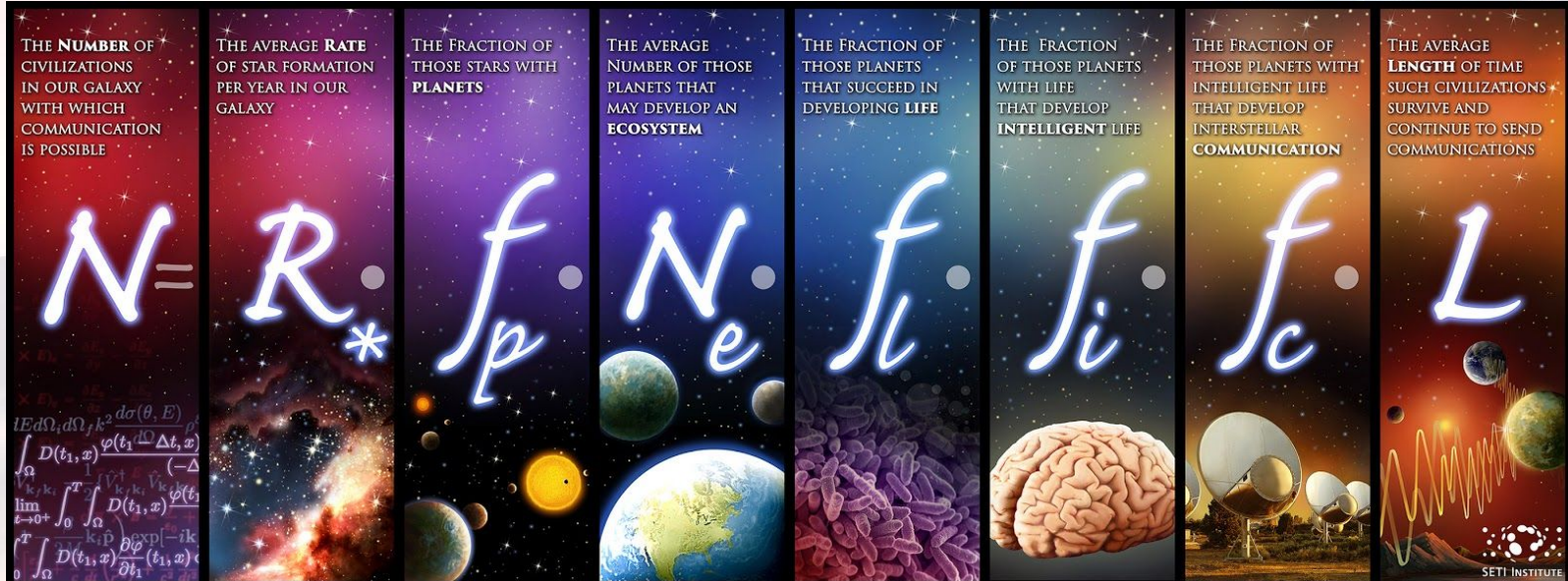


# Hledání mimozemského života



Frank Drake 1961: **Drakeova rovnice**

Odhad množství civilizací, které jsou právě v tento moment schopny komunikovat a snaží se o kontakt



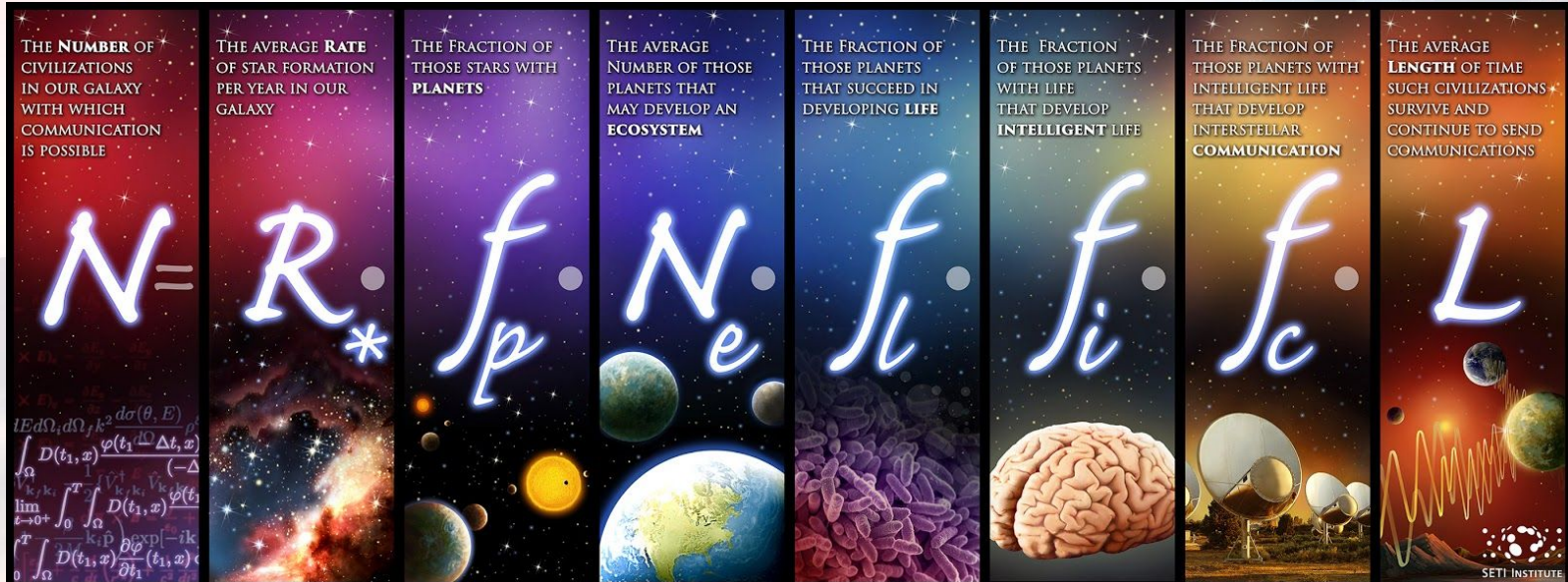
# Hledání mimozemského života



Frank Drake 1961: **Drakeova rovnice**

Odhad množství civilizací, které jsou právě v tento moment schopny komunikovat a snaží se o kontakt

Westby&Conselice 2020, ApJ, 896 1:  
36 civilizací v naší Galaxii





# Hledání mimozemského života

## V naší galaxii existuje podle vědců 36 mimozemských civilizací

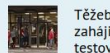
Aktualizace: 16.06.2020 11:10 Vydáno: 16.06.2020, 11:10



Mléčná dráha na noční

Londýn - V naší c mimozemských c

PRÁVĚ ZVEŘEJ



Těžeb zahájí testov



Japon použij



Češi p nákup než pi

## V naší galaxii existuje 36 mimozemských civilizací. Spočítali to vědci vylepšením klasické rovnice

## GLOSA: V galaxii má být 36 dalších civilizací. Proč ne 35, 42, či tisíc?

17. června 2020 17:02

V naší galaxii by podle nově zveřejněného odhadu mohly být v tuto chvíli desítky civilizací na podobné úrovni vývoje, jako je ta pozemská. Ale má smysl se vůbec takovým výsledkem zabývat?



Antény v institutu SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence) | foto: SETI Institute

## Novinky.cz

Novinky.cz » Věda a školy » V naší Galaxii existuje 36 civilizací, tvrdí astrofyzici

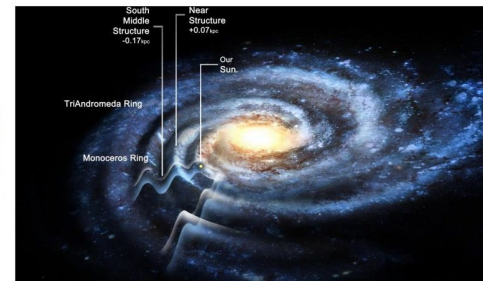
KORONAVIRUS: DOVOLENÁ. KAM A KDY?

MAPA AKTIVNÍCH PŘÍPADA

## V naší Galaxii existuje 36 civilizací, tvrdí astrofyzici

16. 6. 2020, 13:57 - Londýn - ČTK

V naší domovské Galaxii Mléčná dráha existuje 36 inteligentních mimozemských civilizací, které jsou schopné komunikovat s ostatními. K takovému odhadu dospěli na základě výpočtů britští astrofyzici, kteří se pokusili aktualizovat teorii o možném výskytu mimozemských civilizací ve vesmíru.



Zdroj: Rensselaer Polytechnic Institute

Vesmír

### Ne, v galaxii se asi neukrývá 36 mimozemských civilizací

16. června 2020 loukotska 0 Comments fermiho paradox, mimozemšťani

To se mi líbí 140 Sdílet

TLDR: Aktualizované řešení hypotetické Drakeovy rovnice přišlo s možností, že by kolem nás mohly být minimálně desítky mimozemských sousedů. O to větší je škoda, že žádné nevidíme. Studie tu.

# Hledání mimozemského života

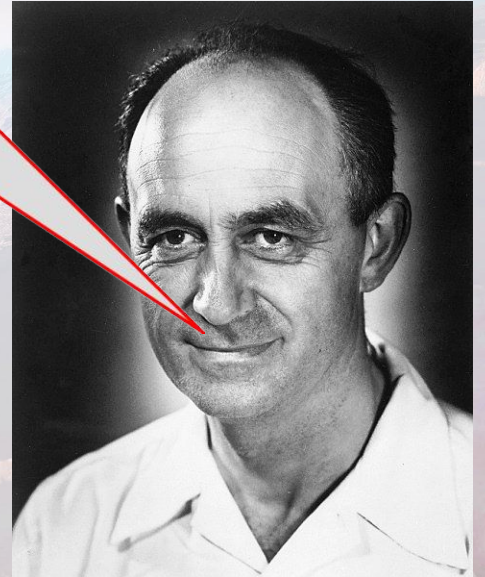




# Hledání mimozemského života

Kde tedy všichni jsou?

Nejméně 580 miliónů druhých  
Zemí v Galaxii!!!



# Hledání mimozemského života

## Wow! signál (1977)

- detekován radioteleskopem Big Ear (Ohio, USA)
- 72 sekund, 1420 MHz, tvar gaussovky
- kometa 266P/Christensen nebo 335P/Gibbs? (Paris&Davies 2017, arXiv:1706.04642, Washington Academy of Sciences)
- zdrojem 2MASS 19281982-2640123? (Caballero 2020, arXiv:2011.06090)



Wow!

1		2		1	4
1	16	1		1	
1	11	1		1	1
	1				3
1	2				31
1	E24	3	12	1	21
1	Q	1	1	2	1
1	U	3	1	3	7
2	J	3	1	3	11
5	1				1
	14	1		113	2
1	3	1		1	1
1	4			1	1
	4	1	1	1	11
1	1			1	2
1	1	1			11
	1			1	1





# Hledání mimozemského života

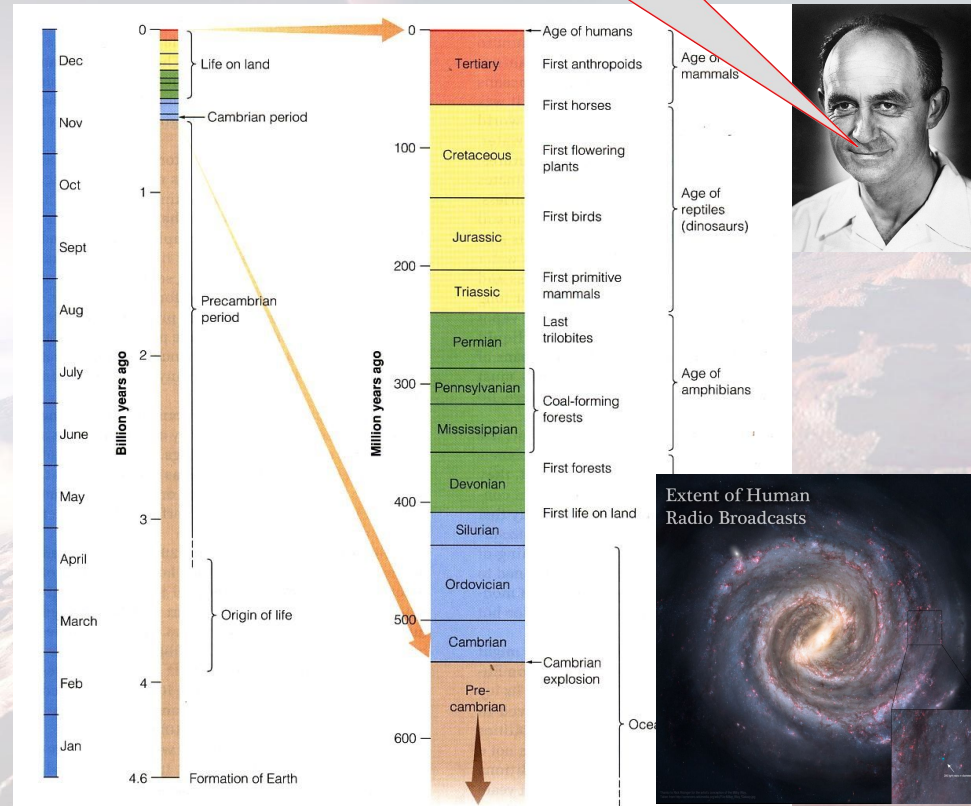
1. Neexistují (momentálně)
2. Jsou příliš daleko
3. Nemají zájem o komunikaci s námi
4. Jsou zticha pro všechny
5. Nedosáhli potřebné technologické úrovně
6. Mimosvětový život je úplně jiný než pozemský
7. Přeslechli jsme se
8. Jsou zde a jen o nich nevíme
9. ...



SETI institute's Allen telescope array

Kdo bude mluvit  
za Zemi?

Kde tedy všichni jsou?





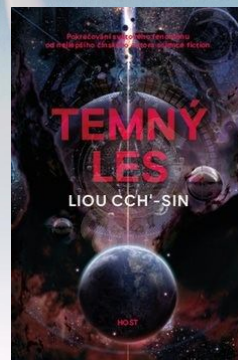


# Sci-fi literatura

Liou Cch'-Sin

## Vzpomínka na Zemi

Kosmické civilizace o sobě  
záměrně nedávají vědět



### Axiomy kosmické sociologie:

1. Přežití je primární potřeba kosmické civilizace
2. Civilizace se neustále rozvíjí a šíří, ale celková hmota ve vesmíru zůstává konstantní

Debata Ta Š' a Luo Ťi o dvou vzdálených kosmických civilizacích:

**Ta Š':** Mohl bych ti poslat zprávu.

**Luo Ťi:** Za to ale zaplatíš – prozradíš mi, že existuješ.

**Ta Š':** Co když to chci stejně risknout? Když budeš kámoš, začneme se spolu bavit a budeme z toho těžit oba.

**Luo Ťi:** I kdybych byl kámoš, jak poznám, že ty jsi kámoš? I kdybych si myslel, že jsi kámoš, nemůžu vědět, co si myslíš, že já si myslím, že ty si myslíš o mně.

# Sci-fi literatura

Robert L. Forward:

Dračí vejce

Hvězdotřesení

- Civilizace na povrchu neutronové hvězdy

