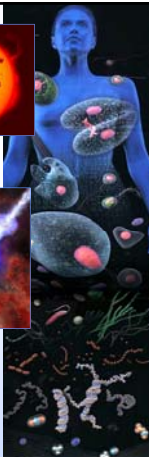
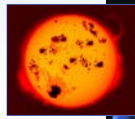


Vesmír náš domov...

... aneb kde všude může být
ve vesmíru doma?

Vladimír Kopecký Jr.

Fyzikální ústav
Matematicko-fyzikální fakulty
Univerzity Karlovy v Praze
<http://biomolecules.mff.cuni.cz>
kopecky@karlov.mff.cuni.cz



Obyvatelná zóna v okolí hvězd Definice obyvatelné planety

- Planeta má **oceán a pevninu**
 - Oceán reguluje teplotní výkyvy
 - Desková tektonika recykluje chemické prvky
- Mírně **zvýšený obsah kyslíku**
 - Kyslík vytváří ozonovou vrstvu chránící před UV zářením
 - Zvýšený obsah O_2 (a nízký obsah CO_2) je nezbytný pro vznik vyšších forem života
- Dlouhá období **klimatické stability**
 - Zahrnují stabilitu mateřské hvězdy, minimum ničivých impaktů, stabilizaci rotační osy planety satelitem, zdroj energie pohánějící deskovou tektoniku, nízká excentricita dráhy planety

■ G. Gonzalez et al., Icarus 152 (2001) 185–200.

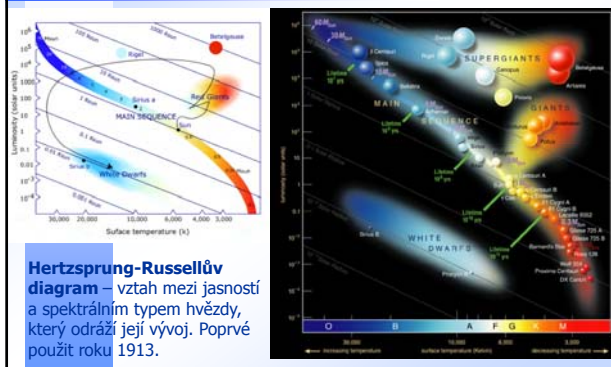
Obyvatelná zóna v okolí hvězd Stabilizace klimatu obyvatelné planety

- **Vnitřní okraj** zóny je dán **ztrátou vody**
 - $1,1 \times$ slunečního toku vede k zvlhčení stratosféry (složitě formy života nemohou existovat)
 - $1,4 \times$ slunečního toku vede k překročení kritické teploty vody 647 K a k úplnému vypaření oceánů
- **Vnější okraj** obyvatelné zóny je dán **kondenzací CO_2**
 - Kondenzace vede ke vzniku oblačnosti a tím ke zvýšení albeda, a tím poklesne teplota povrchu
 - Snížení obsahu CO_2 vede ke snížení skleníkového efektu a k zamrznutí planety

■ J.F. Kasting et al., Icarus 101 (1993) 108–128. S.S. Huang Am. Sci. 47 (1959) 397–402. (habitable zone)
■ I.S. Shklovsky & C. Sagan (1966) Intelligent life in the universe. (ecosphere)

Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Vývoj mateřské hvězdy



Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Radiační ohřev...

- **Albedo A** – odražené záření na všech vlnových délkách, podíl absorbovaného záření je tedy dán jako $(1 - A)$
- **Efektivní zářivý tok F** – dán Stefan-Boltzmannovým zákonem (předpokládáme, že planeta je černé těleso)

$$F = \sigma T^4$$

kde σ je Stefan-Boltzmannova konstanta ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$) a T je teplota fotosféry hvězdy



Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Radiační ohřev...

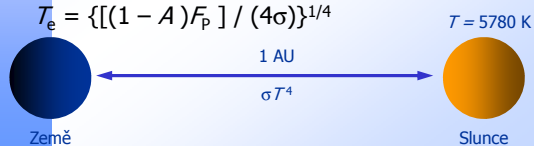
- Pro planetu o poloměru R_p je vyzařovací plocha rovna $4\pi R_p^2$
- Absorbující plocha je ale jen disk πR_p^2
- Energetická rovnováha planety je pak dána jako

$$4\pi R_p^2 \sigma T_e^4 = \pi R_p^2 (1 - A) F_p$$

kde F_p je efektivní zářivý tok hvězdy ve vzdálenosti planety d , který je dán jako $F/(4\pi d^2)$ (pro Zemi = 1370 W/m^2)

- Efektivní **teplota povrchu planety** je tedy

$$T_e = \{[(1 - A) F_p] / (4\sigma)\}^{1/4}$$



Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Příklad – radiční ohřev a obyvatelná zóna



- Jaká je vzdálenost vnější hranice obyvatelné zóny kolem Slunce, daná bodem mrznutí vody?

- Zářivý výkon Slunce = $3,8 \times 10^{26}$ W, teplota mrznutí $H_2O = 273$ K, energetická rovnováha planety je dána jako

$$4\pi R_p^2 \sigma T_e^4 = \pi R_p^2 (1 - A) F / (4\pi d^2)$$

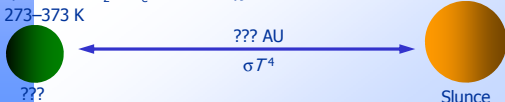
$$d^2 = (1 - A) F / (16\pi \sigma T_e^4)$$

$$d^2 = (1 - 0,31) \cdot 3,8 \times 10^{26} / (16\pi \cdot 5,67 \times 10^{-8} \cdot 273^4)$$

$$d^2 = 1,66 \times 10^{22} \text{ m}^2$$

$$d = 1,29 \times 10^{11} \text{ m} \rightarrow d / 1,5 \times 10^{11} \text{ m} = \mathbf{0,86 \text{ AU}}$$

- V případě varu H_2O , $T_c = 373$ K, vyjde $d = 0,46 \text{ AU}$ $T = 5780 \text{ K}$



Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Základní parametry planet

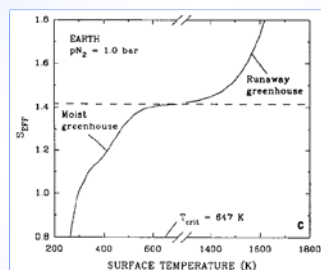
- Albedo** je odrazivost povrchu planety
 $A_p = 1 - 4F_s / S_0$

kde S_0 je sluneční konstanta
 $S_0 = 1370 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

- Efektivní sluneční tok**
 $S_{\text{eff}} = F_{\text{IR}} / F_s$

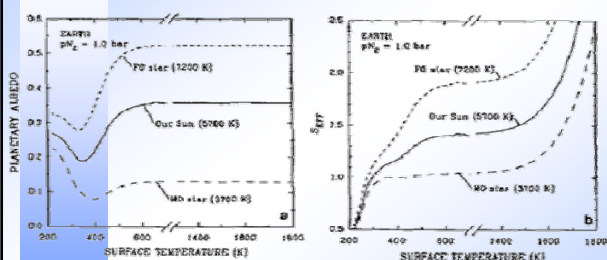
kde F_{IR} je vyzařovaný infračervený tok a F_s je dopadající sluneční tok

- J. F. Kasting et al., Icarus 101 (1993) 108–128.



Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Vývoj obyvatelné zóny



Vývoj teploty povrchu planety v závislosti na a) albedu planety, b) intenzitě působícího záření mateřské hvězdy. Vývoj je znázorněn pro hvězdy tří typů a uvažuje se vnitřní okraj obyvatelné zóny v dané soustavě.

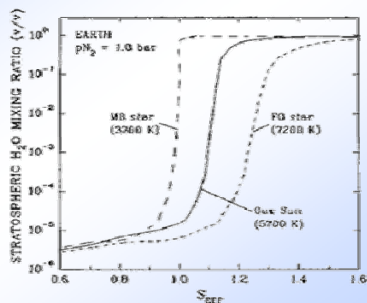
- J. F. Kasting et al., Icarus 101 (1993) 108–128.

Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Typ mateřské hvězdy vs. ztráta H₂O

Diagram stratosférického úniku vody v závislosti na působícím toku záření od mateřské hvězdy.

Diagram znázorňuje tuto závislost pro tři různé typy hvězd a při poloze planety u vnitřního okraje obyvatelné zóny.



■ J. F. Kasting et al., Icarus 101 (1993) 108–128.

Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Kritické hodnoty pro různé typy hvězd

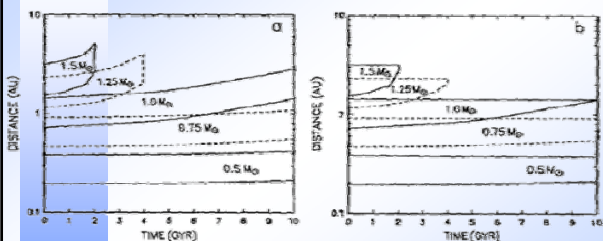
Limity	M0		G2		F0	
	Tok	AU	Tok	AU	Tok	AU
Dávná Venuše	1,60	0,19	1,76	0,75	2,00	1,47
Lavinovitý skleníkový efekt	1,05	0,24	1,41	0,84	1,90	1,50
Ztráta vody	1,00	0,25	1,10	0,95	1,25	1,85
CO ₂ kondenzace	0,46	0,36	0,53	1,37	0,61	2,70
Maximální* skleníkový efekt	0,27	0,47	0,36	1,67	0,46	3,06
Dávný Mars	0,24	0,50	0,32	1,77	0,41	3,24

* Maximální skleníkový efekt je dán vzdáleností, při které bezoblačná atmosféra z CO₂ udrží na povrchu planety teplotu 273 K.

■ J. F. Kasting et al., Icarus 101 (1993) 108–128.

Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Vývoj obyvatelné zóny



Vývoj obyvatelné zóny kolem různě hmotných hvězd za předpokladu a) „chladné starty“ povoleny, b) „chladné starty“ zakázány. Vývoj zóny není dále zobrazován pokud hvězda opustí hlavní posloupnost.

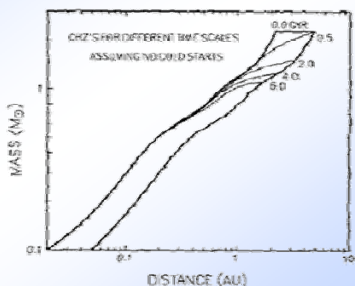
■ J. F. Kasting et al., Icarus 101 (1993) 108–128.

Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Typ mateřské hvězdy vs. obyvatelná zóna...

Trvale obyvatelná zóna v závislosti na hmotnosti mateřské hvězdy.

Zóna obyvatelnosti nezahrnuje „chladné starty“ (světy, které se stanou obyvatelnými v důsledku ohřevu). Časový údaj udává dobu obyvatelnosti zóny.



J. F. Kasting et al., Icarus 101 (1993) 108–128.

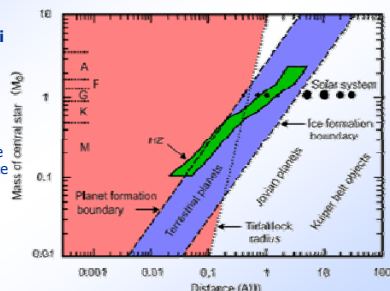
Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Typ mateřské hvězdy vs. obyvatelná zóna

Diagram zóny obyvatelnosti v závislosti na hmotnosti mateřské hvězdy.

Zóna obyvatelnosti (HZ) je znázorněna plnou čarou a zeleně. Oblast ohraničená čárkovanými liniemi vyznačuje zónu pravděpodobné existence planety zemského typu (modře). Tečkovaná čára označuje zónu (červeně) vázané rotace planety (ustálené během 4,5 Gy).

U hvězd typu M budou mít všechny planety pozemského typu vázanou rotaci, sici!



J. F. Kasting et al., Icarus 101 (1993) 108–128.

Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Obyvatelnost planet u červených trpaslíků...

- Planety v obyvatelné zóně mají vázanou rotaci
- S klesající rozměrem a luminositou hvězdy se dráha přibližuje

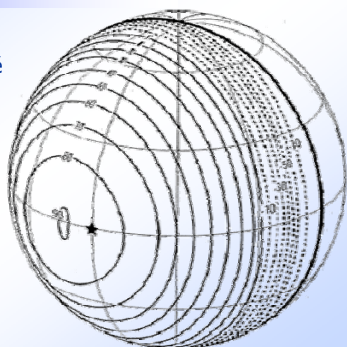
Typ	G2	M0	M2	M5	M8
Hmotnost	1,00	0,47	0,39	0,21	0,10
Poloměr	1,00	0,63	0,50	0,32	0,13
Luminosita	1,00	0,063	0,032	0,008	0,0008
Poloměr dráhy (AU)	1,00	0,26	0,19	0,10	0,02
Poloměr dráhy (R*)	214	56	41	21	5

M. J. Heath et al., Origins of Life and Evolution of the Biosphere 29 (1999) 405–424.

Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Obyvatelnost planet u červených trpaslíků...

- Těleso zemského (M_Z) typu v obyvatelné zóně
- * značí hvězdu v nadhlavníku
- Atmosférický tlak
0,1 baru

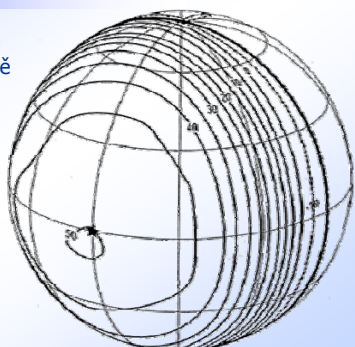


■ M. J. Heath et al., Origins of Life and Evolution of the Biosphere 29 (1999) 405–424.

Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Obyvatelnost planet u červených trpaslíků...

- Těleso zemského (M_Z) typu v obyvatelné zóně
- * značí hvězdu v nadhlavníku
- Atmosférický tlak
1,0 baru

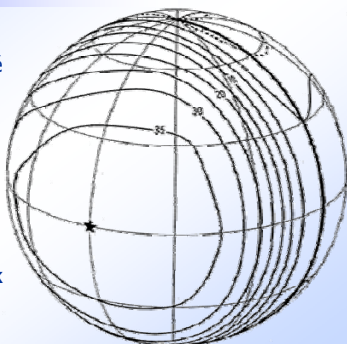


■ M. J. Heath et al., Origins of Life and Evolution of the Biosphere 29 (1999) 405–424.

Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Obyvatelnost planet u červených trpaslíků

- Těleso zemského (M_Z) typu v obyvatelné zóně
- * značí hvězdu v nadhlavníku
- Atmosférický tlak
1,5 baru
- **Atmosféra** hraje klíčovou roli při rozvádění tepla a **stabilizaci podmínek**



■ M. J. Heath et al., Origins of Life and Evolution of the Biosphere 29 (1999) 405–424.

Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Definice a závěry zóny obyvatelnosti

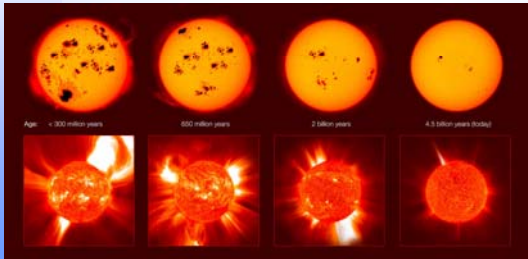
- Vnitřní okraj zóny je dán **ztrátou vody** vedoucí k vypaření oceánů
- Vnější okraj zóny je dán **kondenzací CO₂** jež vede k zalednění planety
- Pro Slunce vychází zóna min. 0,95–1,37, max. 0,75–1,90 AU
- Rozsahy a vzdálenosti zón obyvatelnosti pro hvězdy typu F až M jsou řádově stejné
- Existuje 3× více **K hvězd** než G a jejich vývoj je pozvolnější než u Slunce (G2) – jsou potenciálně nejvhodnějšími mateřskými hvězdami pro život
- **Hvězdy typu F** setrvávají na hlavní posloupnosti pouze 2 Gy a také vyzařují více v UV – parametry vylučují komplexní život

■ J. F. Kasting et al., Icarus 101 (1993) 108–128.

Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Slabiny definice – mladá léta Slunce

- Z počátku **Slunce rotovalo 10× rychleji** → silnější dynamo
- Koronální X-ray ~100–1000×, chromosférické UV ~20–60× silnější
- Vysokoenergetický tok byl 2,5× vyšší před 2,5 Gyr a 6× před 3,5 Gyr

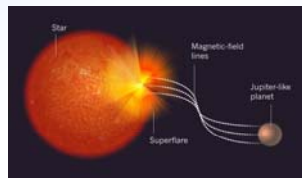


■ J. Ribas et al. Astrophys. J. 622 (2005) 680–694.

Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Slabiny definice – supererupce...

- Supererupce se vyskytují na pomalou rotujících hvězdách středního věku F8–G8
- Trvají od minut po dny
- Energie 10³³–10³⁹ erg (největší pozorovaná u Slunce 1859 Carrington 10³² erg)
- U Slunce nebyla žádná supererupce pozorována v posledních 2000 letech a s energií 10³⁶ erg v poslední Gy
- Supererupce s energií 10³² se u Slunce vyskytne ~450 let
- Supererupce mají letální účinky na život zemského typu
- Energie supererupcí může snadno indukovat vznik organických molekul



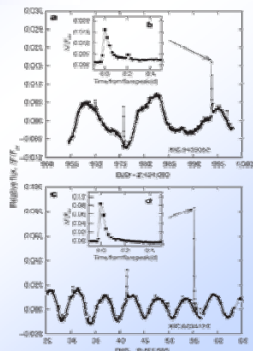
Vznik supererupce působením horkého Jupitera se ukázal být velkou výjimkou díky datům z družice Kepler

■ B. E. Schaefer, Nature 485 (2012) 456–457.

Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Slabiny definice – supererupce

- Ze 100 000 hvězd monitorovaných družicí Kepler je 83 000 typu G z toho 148 jeví supererupce a žádná z nich nemá exoplanetu
- **0,2 % hvězd typu G má supererupce**
- Supererupce vede ke zjasnění o 0,1–30 % po dobu 1–12 hodin
- Supererupce jsou spojeny s rozsáhlými skupinami slunečních skvrn
- Frekvence supererupcí na pomalu rotujících hvězdách ($d > 10$ dnů) je 1/20 u rychle rotujících



■ H. Maehara et al., Nature 485 (2012) 478–481.

Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Obyvatelné měsíce v okolí obřích planet...

- Podmínkou obyvatelnosti měsíce obří planety je **oběh planety v obyvatelné zóně kolem hvězdy**
- Měsíc musí mít **hmotnost $> 0,12$** hmotnosti Země pro udržení dostatečně husté atmosféry
- Měsíc by měl mít **vázanou rotaci**
- Vhodný je měsíc s vlastním **magnetickým polem** (jako štít proti radiaci od mateřské planety)
- **Desková tektonika** může pomoci stabilizovat prostředí pro život



Artist's View of Planet around the Star HD 209458

■ D. M. Williams et al., Nature 385 (1997) 234–236.

Obyvatelná zóna v okolí hvězd

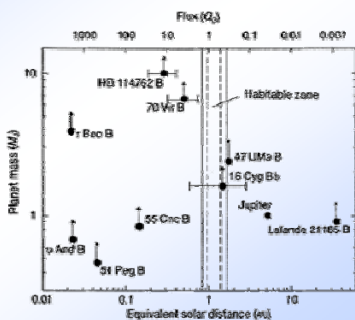
Obyvatelné měsíce v okolí obřích planet...

Poloha objevených exoplanet s ohledem na obyvatelnou zónu kolem mateřské hvězdy.

Hmotnost planet je vztažena k hmotnosti Jupiteru, tok záření je vztažen ke Slunci, tj. $Q_0 = 1370 \text{ W/m}^2$.

Vodorovné úsečky naznačují excentricitu drah planet. Čárkovaně je vyznačena „konzervativní“ obyvatelná zóna, plnou čarou pak širěji pojatá varianta.

16 Cyg Bb je součástí systému tří hvězd, sic!



■ D. M. Williams et al., Nature 385 (1997) 234–236.

Obyvatelná zóna v okolí hvězd

Obyvatelné měsíce v okolí obřích planet

- **Důvody proti komplexnímu životu**
 - Časté **dopady asteroidů a komet** vlivem silné gravitace mateřské planety
 - Obří planety mají většinou **silná magnetická pole**, která vedou k vyšší hladině částicového záření
 - **Slapové působení planety** se odehrává na relativně krátké časové škále
 - Obří planety mají většinou **excentrické dráhy**



■ G. Gonzalez et al., Icarus 152 (2001) 185–200.

Je v Galaxii bezpečno?

Nebezpečné výbuchy supernov

- V Galaxii vybuchne supernova zhruba **jednou za 100 let**
- K výbuchu supernovy do vzdálenosti **10 pc od Země** dochází v průměru za **240–500 milionů let**
- Ionizující záření může trvat 10^4 – 10^5 let
- Výbuch zničí ozonovou vrstvu na ca. 300 let, vytvoří nadbytek NO na 2–6 let
- Vyšší organismy zahynou okamžitě působením UV záření okolo 250 nm
- Dojde k silnému narušení ekosystémů

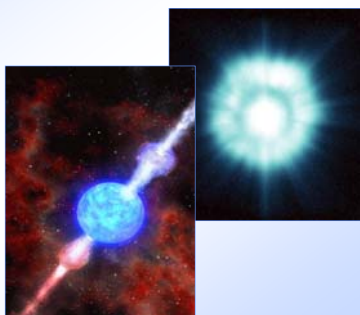


■ J. Ellis & D. N. Schramm, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 92 (1995) 235–238.

Je v Galaxii bezpečno?

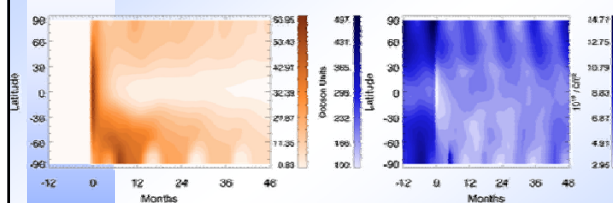
Ještě nebezpečnější gama záblesky...

- Během ca. 10 s je vyzářeno 5×10^{44} W; v UVB (218–315 nm) oblasti ~ 20 W/m, tj. $7 \times$ sluneční tok v UVB
- **Gama záblesk (GRB)** do vzdálenosti **2 kpc** by měl podobné účinky jako výbuch supernovy
- Pravděpodobnost jevu je 1 za 1 Gy



■ B. C. Thomas et al., Astrophys. J. 622 (2005) L153–L156.

Je v Galaxii bezpečno? Ještě nebezpečnější gama záblesky...

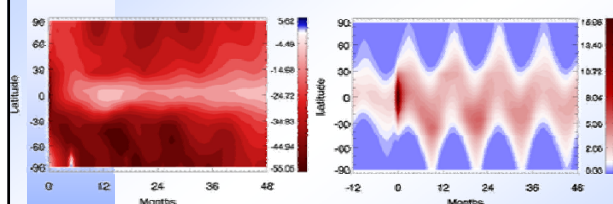


Hustota sloupce NO_y
v jednotkách 10^{18} cm^{-2} .
(GRB se odehrál v měsíci 0.)

Hustota sloupce O₃ v
Dobsonových jednotkách (vlevo)
a 10^{18} cm^{-2} (vpravo). (GRB se
odehrál v měsíci 0.)

■ B. C. Thomas et al., *Astrophys. J.* 622 (2005) L153–L156.

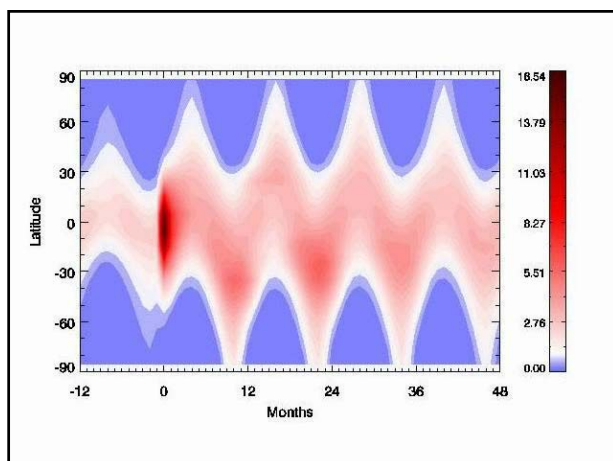
Je v Galaxii bezpečno? Ještě nebezpečnější gama záblesky



**Bodová procentní změna
ozonového sloupce před
a po gama záblesku.**

Relativní poškození DNA,
normalizované na relativní roční
poškození bez přítomnosti GRB
(Bílá odpovídá 1,0.)

■ B. C. Thomas et al., *Astrophys. J.* 622 (2005) L153–L156.



Galaktická zóna obyvatelnosti

Zóna obyvatelnosti v Mléčné dráze

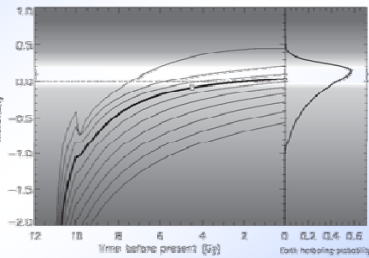
- **V analogii se zónou obyvatelnosti kolem hvězd** lze definovat obdobnou zónu v Galaxii
- **Faktory ovlivňující obyvatelnou zónu v Galaxii jsou různé** od těch, které definují zóny obyvatelnosti kolem hvězd
- Je třeba zdůvodnit slabou verzi **antropického principu**
- **Pozice Slunce**, stejně jako jeho oběh, či parametry složení **nejsou náhodou!**

■ G. Gonzalez et al., Icarus 152 (2001) 185–200. L. S. Marohnik, Astrophysics 19 (1984) 278–283.

Galaktická zóna obyvatelnosti

Dostatek kovových prvků

- **Metalicitou se rozumí výskyt prvků těžších než H a He**
- Metalicita hvězdy se udává jako **log poměr zastoupení železa ku vodíku** (relativně vůči Slunci)
- Silná metalicita vede k tvorbě **obřích planet** na vnitřních oběžných drahách



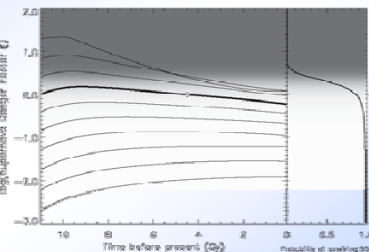
Tvorba kovových prvků v Galaxii jako funkce času. Křivky znázorňují vzdálenosti od jádra Galaxie po 2,5 kpc (počínaje 2,5 kpc – nahore, a konče 20,5 kpc – dole). Bílý bod znázorňuje vytvoření Slunce. Křivka vpravo je pravděpodobnost vzniku planet zemského typu.

■ C. H. Lineweaver et al., Science 303 (2004) 59–62.

Galaktická zóna obyvatelnosti

Nebezpečí hrozí od supernov

- **Výbuchy supernov sterilizují své okolí do vzdálenosti 30 ly**
- Definuje se **faktor ohrožení výbuchem supernovy** $\zeta(r, t)$ jako funkci vzdálenosti r , a času potřebného ke vzniku supernovy t , norm. na polohu Země
- Schopnost života přežít explozi není známa



Faktor ohrožení výbuchem supernovy. Křivky znázorňují vzdálenosti od jádra Galaxie po 2,5 kpc (počínaje 2,5 kpc – nahore, a konče 20,5 kpc – dole). Bílý bod znázorňuje vytvoření Slunce. Křivka vpravo je pravděpodobnost přežití výbuchu supernovy.

■ C. H. Lineweaver et al., Science 303 (2004) 59–62.

Galaktická zóna obyvatelnosti

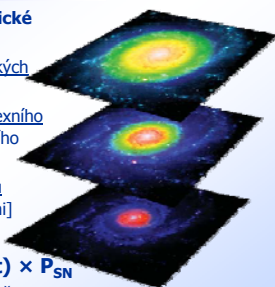
Evoluce zóny obyvatelnosti

■ Pravděpodobnost **existence galaktické obyvatelné zóny** (GHZ) je dána:

- Pravděpodobnost vzniku metalických planet – P_{metal}
- Dobou potřebnou k vývoji komplexního života – $P_{\text{evol}}(t)$ [integrál normálního rozdělení 4 ± 1 Gy]
- Pravděpodobnost přežití výbuchu supernovy – P_{SN} [renorm. na Zemi]
- Tvorbou nových hvězd – SFR

■ $P_{\text{GHZ}} = \text{SFR} \times P_{\text{metal}} \times P_{\text{evol}}(t) \times P_{\text{SN}}$

- Je-li SFR velké P_{SN} klesá – narůstá počet supernov a klesá šance přežít jejich výbuch

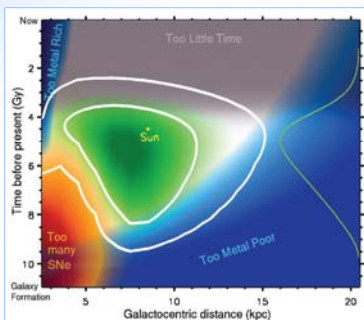


■ C. H. Lineweaver et al., Science 303 (2004) 59–62. R. Irion, Science 303 (2004) 27.

Galaktická zóna obyvatelnosti

Zóna obyvatelnosti pro komplexní život

Obyvatelná zóna Mléčné dráhy sestavená na základě stupně tvorby nových hvězd, metalicity (*modře*), času potřebného k evoluci života (*šedě*) a život ohrožujících explozí supernov (*červeně*). Bílé kontury zahrnují 68 % (vnitřní) a 95 % vznikajících hvězd s nejvyšší šancí na vývoj komplexního života v současné době. **Zelená křivka** vpravo je distribuce komplexního života jako integrál $P_{\text{GHZ}}(r, t)$ přes r .

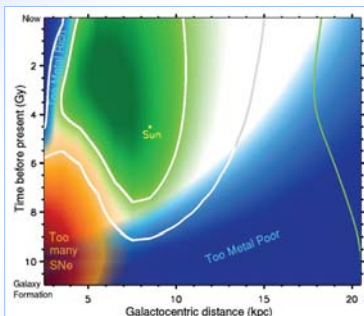


■ C. H. Lineweaver et al., Science 303 (2004) 59–62.

Galaktická zóna obyvatelnosti

Zóna obyvatelnosti pro libovolnou formu života

Obyvatelná zóna Mléčné dráhy s vynecháním faktoru 4 ± 1 Gy pro evoluci komplexního života sestavená na základě stupně tvorby nových hvězd, metalicity (*modře*) a explozí supernov (*červeně*). Bílé kontury zahrnují 68 % (vnitřní) a 95 % vznikajících hvězd s nejvyšší šancí na vývoj komplexního života v současné době. **Zelená křivka** vpravo je distribuce komplexního života jako integrál $P_{\text{GHZ}}(r, t)$ přes r .



■ C. H. Lineweaver et al., Science 303 (2004) 59–62.

Galaktická zóna obyvatelnosti

Závěry plynoucí z modelu zóny

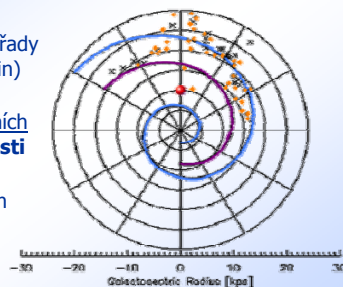
- Obyvatelná zóna vznikla před 8 Gy
- Není překvapivé, že v ní nalezneme Slunce (s ohledem na způsob výpočtu)
- **Hladinou pravděpodobnosti 68 % prošlo pouhých 10 % hvězd, které kdy v Mléčné dráze vznikly**
- 75 % hvězd, které mohou hostit komplexní život je průměrně o 1 Gy starších než Slunce
- Neuvažujeme-li dobu potřebnou pro evoluční proces je starších pouze 30 % a ostatní jsou v průměru o 1 Gy mladší než Slunce
- Model nezahrnuje některé důležité faktory (dráhy hvězd, aktivitu jádra Galaxie, molekulární mračna atd.) 10 % hvězd je tak horním odhadem!

■ C. H. Lineweaver et al., Science 303 (2004) 59–62.

Galaktická zóna obyvatelnosti

Formaldehyd v molekulárních mračnách

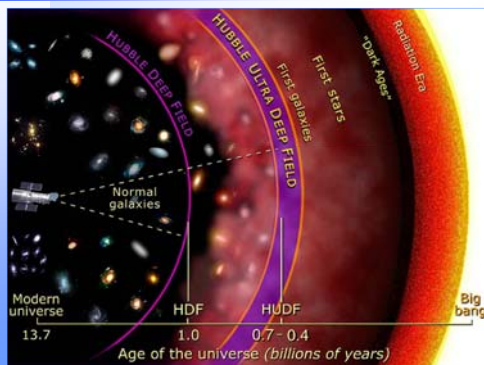
- Formaldehyd (H_2CO) je prekurzorem při vzniku řady biomolekul (aminokyselin)
- Lze jej detekovat na 140.8 GHz v molekulárních mračnách ve vnější části Galaxie
- Z 69 mračen byl nalezen v 65 %
- **Dává omezení vnější oblasti zóny**
- Detekce formaldehydu v Galaxii: **pozitivní** – diamanty, **negativní** – křížky. Rameno Persea (modře), rameno Labutě (fialově), **červeně** – Slunce.



■ S. K. Blair et al., Astrobiology 8 (2008) 59–83.

Obyvatelnost jiných galaxií

Vznik galaxií ve vesmíru



Obyvatelnost jiných galaxií

Galaktické mládí



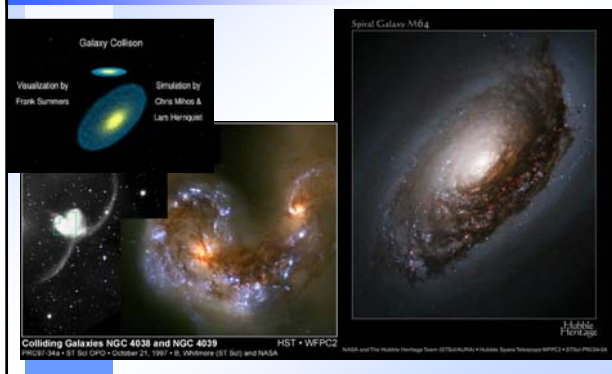
Obyvatelnost jiných galaxií

Podobně biofilní galaxie



Obyvatelnost jiných galaxií

Srážky galaxií



Obyvatelnost jiných galaxií

Seyfertovy galaxie

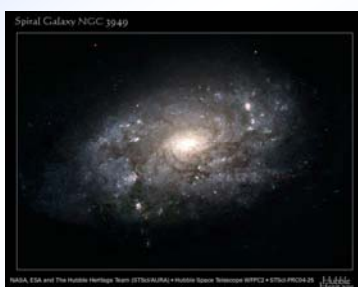
- Pojmenovány po **Carlu Seyfertovi (1911–1960)**, který je definoval roku 1943
- **Spirální galaxie s malým, jasným jádrem**, vykazujícím široké spektrální čáry
- Poukazují na přítomnost **žhavého, rychle obíhajícího plynu** v malém prostoru, nejspíše kolem černé díry
- **Podobají se kvasarům**, jsou 100× jasnější než obyčejné spirální galaxie
- Při vzplanutí emitují X-ray, a kosmické záření



Obyvatelnost jiných galaxií

Je každá spirální galaxie někdy Seyfertova?

- Galaxie mohou procházet aktivními obdobími s periodou 10^6 – 10^9 let
- Při zjasnění stoupne X-ray 10^8 ×, **kosmické záření zaplní celou galaxii (10^{13} ly) na dobu 10^6 let**
- Vzplanutí je účinky totožné s výbuchem supernovy do vzdálenosti 30 ly
- **Ozonová vrstva planet zemského typu je zničena, radioaktivní pozadí stoupne min. 100×**



■ J. N. Clarke, Icarus 46 (1981) 94–96.

Obyvatelnost jiných galaxií

Jak přežít v Seyfertově galaxii?

- Perioda aktivity spirální galaxie (10^8 let) je souměřitelná s dobou průchodu Slunce spirálními rameny Galaxie (100 My, průchod 10 My)
- Ve spirálních ramenech mohou být hvězdy po dobu 10^6 let chráněny před kosmickým zářením silnějším magnetickým polem (10–100×)
- **Pravděpodobnost periodických „záchranných“ průchodů hvězdy spirálními rameny Galaxie je $<10^{-9}$**
- **Nepravidelné galaxie (bez jádra), dostatečně vzdálené od spirálních galaxií mohou být mnohem příjemnějším místem pro život**



Doporučená literatura

- J. F. Kasting, D. P. Whitmire, R. T. Reynolds: Habitable zones around main sequence stars. Icarus 101 (1993) 108–128.
{Skvělý článek o obyvatelných zónách kolem hvězd}
- C. H. Lineweaver, Y. Fenner, B. K. Gibson: The galactic habitable zone and the age distribution of complex life in the Milky way. Science 303 (2004) 59–62.
{Obyvatelná zóna galaxie, velmi zajímavé}
- A. M. Shaw: **Astrochemistry: from astronomy to astrobiology**. Wiley, Chichester 2006.
{Přehledová kniha o astrobiologii s kapitolou o obyvatelnosti planet, geochemii a chemii atmosféry}

Všude dobře...



... doma nejlépe!
