

# Výpočet obyvatelných zón exoplanet

Pavel Pintr

TOPTEC

14. 5. 2013

- 1 Předchozí studie
- 2 Současná teorie obyvatelných zón
  - Základní výpočet
  - Změna obyvatelných zón
- 3 Studie I. - Statistická analýza
  - Normování extrasolárních systémů
  - Výsledky
- 4 Studie II. - Model planetárních atmosfér
  - Tvorba nového modelu
  - Výsledky

- [Dole (1964)] *Habitable Planets for Man (1st ed.)*.
- [Schneider (2013)]: Interactive extrasolar planets catalogue. (topical till January 2013).
- [Borucki et al. (2011b)] *The Astrophysical Journal* 2011a, 728, 117.
- Kane, S. R.; Gelino, M. D. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 2012, 124, 323. The habitable zone gallery is available from: < [http](http://www.hzgallery.org) > // [www.hzgallery.org](http://www.hzgallery.org) >.
- [Morris (2010)]. Calculating the Habitable Zone. Circumstellar habitable zone simulator 2009.
- [Lorenz and McKay (2003)] *Icarus* 2003, 165, 407.
- [Levenson (2012)]. How to Estimate Planetary Temperatures.

# Základní výpočet

## Svítivost hvězdy

$$L \equiv L_s = 4\pi R_s^2 \sigma T_{\text{eff}}^4, \quad (1)$$

## Světelný tok na hranici obyvatelné zóny

$$S_{\text{inner}} = 4.190 \times 10^{-8} T_{\text{eff}}^2 - 2.139 \times 10^{-4} T_{\text{eff}} + 1.268, \quad (2)$$

$$S_{\text{outer}} = 6.190 \times 10^{-9} T_{\text{eff}}^2 - 1.319 \times 10^{-5} T_{\text{eff}} + 0.2341, \quad (3)$$

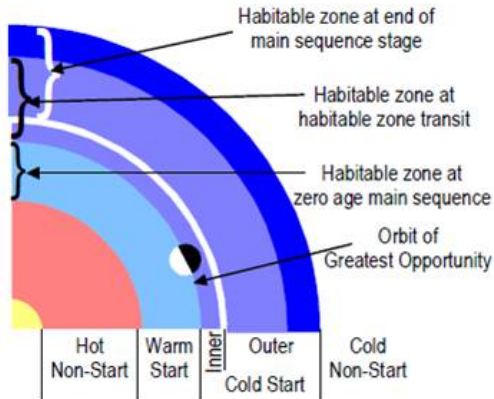
## Stanovení hranic obyvatelné zóny

$$r_{\text{inner}} = \sqrt{\frac{L_s}{S_{\text{inner}}}}, \quad r_{\text{outer}} = \sqrt{\frac{L_s}{S_{\text{outer}}}}, \quad (4)$$

## Epirický vzorec obyvatelnosti

$$r_{\text{inner}} = \sqrt{\frac{L_s}{1.1}}, \quad r_{\text{outer}} = \sqrt{\frac{L_s}{0.53}}, \quad (5)$$

# Změna obyvatelných zón



# Změna obyvatelných zón

$M$	$M_{Planet}$	$L_{ZAMS}$	$V_i$ ZAMS	$V_o$ ZAMS		$L_{HZT}$	$V_i$ HZT	$V_o$ HZT		$L_{MSE}$	$V_i$ MSE	$V_o$ MSE		
Mass of Star  (Solar mass)	Mass of Planet (grams)	Luminosity of star at zero age main sequence (in solar luminosities, L)	Location of habitable zone at zero age main sequence			Luminosity of star at habitable zone transit (in solar luminosities, L)	Location of habitable zone at habitable zone transit			Luminosity of star at main sequence end (in solar luminosities, L)	Location of habitable zone at main sequence end			
			Inner radius (AU)	Outer radius (AU)	Width of habitable zone (AU)		Inner radius (AU)	Outer radius (AU)	Width of habitable zone (AU)		Inner radius (AU)	Outer radius (AU)	Width of habitable zone (AU)	
0.1	2E+32	0.000003	0.002	0.045	0.065	0.020	0.005	0.065	0.094	0.029	0.006	0.073	0.105	0.032
0.2	4E+32	0.000003	0.007	0.079	0.114	0.035	0.014	0.114	0.165	0.050	0.018	0.129	0.185	0.057
0.3	6E+32	0.000003	0.014	0.114	0.164	0.050	0.029	0.164	0.236	0.072	0.037	0.184	0.265	0.081
0.4	8E+32	0.000003	0.026	0.153	0.220	0.067	0.053	0.220	0.317	0.097	0.067	0.247	0.356	0.109
0.5	1E+33	0.000003	0.044	0.201	0.289	0.089	0.092	0.289	0.417	0.128	0.116	0.325	0.468	0.143
0.6	1.2E+33	0.000003	0.076	0.263	0.379	0.116	0.158	0.379	0.545	0.167	0.199	0.425	0.613	0.187
0.7	1.4E+33	0.000003	0.130	0.344	0.496	0.152	0.271	0.496	0.715	0.219	0.341	0.557	0.803	0.245
0.8	1.6E+33	0.000003	0.246	0.473	0.681	0.208	0.511	0.681	0.981	0.300	0.644	0.765	1.102	0.337
0.9	1.8E+33	0.000003	0.430	0.626	0.901	0.276	0.893	0.901	1.298	0.397	1.127	1.012	1.458	0.446
1	2E+33	0.000003	0.710	0.803	1.157	0.354	1.474	1.157	1.667	0.510	1.858	1.300	1.872	0.573
1.1	2.2E+33	0.000003	1.117	1.007	1.451	0.444	2.317	1.451	2.091	0.640	2.922	1.630	2.348	0.718
1.2	2.4E+33	0.000003	1.688	1.239	1.785	0.546	3.503	1.785	2.571	0.786	4.418	2.004	2.887	0.883
1.3	2.6E+33	0.000003	2.469	1.498	2.158	0.660	5.124	2.158	3.109	0.951	6.461	2.424	3.492	1.068
1.4	2.8E+33	0.000003	3.510	1.786	2.574	0.787	7.286	2.574	3.708	1.134	9.187	2.890	4.164	1.273
1.5	3E+33	0.000003	4.872	2.105	3.032	0.927	10.111	3.032	4.368	1.336	12.750	3.405	4.905	1.500
1.6	3.2E+33	0.000003	6.620	2.453	3.534	1.081	13.739	3.534	5.091	1.557	17.324	3.969	5.717	1.749
1.7	3.4E+33	0.000003	8.829	2.833	4.081	1.248	18.323	4.081	5.880	1.798	23.106	4.583	6.603	2.020
1.8	3.6E+33	0.000003	11.583	3.245	4.675	1.430	24.039	4.675	6.735	2.060	30.313	5.250	7.563	2.313
1.9	3.8E+33	0.000003	14.974	3.690	5.315	1.626	31.078	5.315	7.658	2.342	39.189	5.969	8.599	2.630
2	4E+33	0.000003	19.105	4.168	6.004	1.836	39.652	6.004	8.650	2.646	50.001	6.742	9.713	2.971

# Studium I. Statistická analýza

## Normování

$$r_p^{\text{norm}} = \frac{r_p}{\sqrt{M_s}}, \quad (6)$$

## Rozdíl mezi normalizovanými vzdálenostmi

$$\Delta_{n,n-1}^{\text{norm}} = r_{p_n}^{\text{norm}} - r_{p_{n-1}}^{\text{norm}}, \quad (7)$$

## Normalizovaný průměr rozdílu mezi vzdálenostmi

$$\Delta_n^{\text{norm,avg}} = \frac{1}{n} \sum_{i=2}^n \Delta_{i,i-1}^{\text{norm}}. \quad (8)$$

## Teoretický počet exoplanet v obyvatelné zóně

$$N_p = \frac{w}{\Delta_{\text{unnorm,avg}}}. \quad (9)$$

# Studium I. Srovnání

class	$w$ ZMS	$w$ HZT	$w$ MSE	$N_p$ ZMS	$N_p$ HZT	$N_p$ MSE
F	0.444	0.640	0.718	538.182	775.758	870.303
G	0.354	0.510	0.573	1120.253	1613.924	1813.291
K	0.116	0.167	0.187	368.254	530.159	593.651
M	0.067	0.097	0.109	7.617	11.028	12.392

Table : Šířka obyvatelných zón v AU a teoretický počet obyvatelných exoplanet.



## Studium II. Model planetárních atmosfér

Vyzařovací konvektivní model šedého tělesa

$$F_o = F(1 + 0.75\tau), \quad (10)$$

Absorpce světla v atmosféře

$$F_{\text{abs}} = F[1 - \exp(-\tau_{\text{vis}})], \quad (11)$$

Proudění v atmosféře

$$F_c = \frac{(F - F_{\text{abs}})\tau}{E + D\tau}, \quad (12)$$

Povrchový tepelný tok

$$F_{\text{sur}} = F_o - F_{\text{abs}} - F_c = FQ \quad (13)$$

## Studium II. Model planetárních atmosfér

Parametr  $Q$

$$Q = 0.75\tau + \frac{\exp(-\tau_{\text{vis}})}{1 + \tau}. \quad (14)$$

Povrchová teplota exoplanet

$$T_{\text{sur}} = T_{\text{eq}} Q^{\frac{1}{4}}. \quad (15)$$

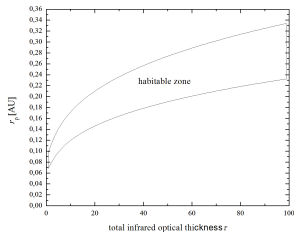
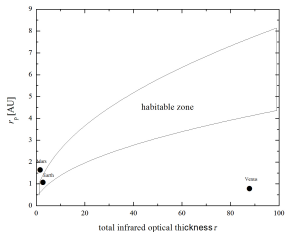
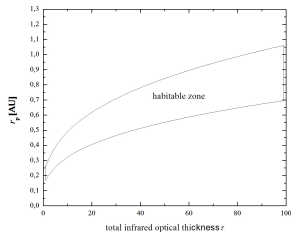
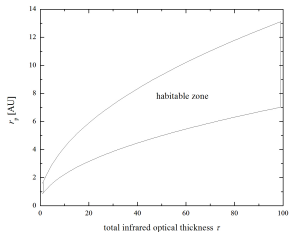
Parametr  $\tau$

$$\tau_i = k_i \sqrt{P_i}, \quad \tau = \sum_i \tau_i \quad (16)$$

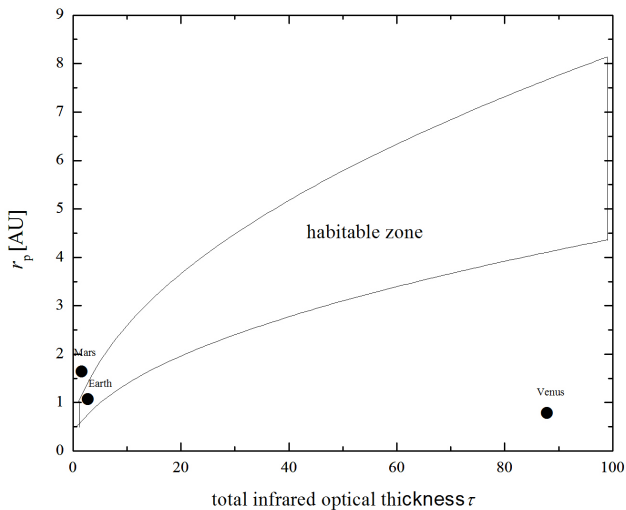
Parametr  $\tau_{\text{vis}}$

$$\tau_{\text{vis}} = 0.36(\tau - 0.723)^{0.411} \quad (17)$$

# Grafické znázornění



# Spektrální třída G



## Základní výsledky

- Nejvíce obyvatelných planet očekáváme o spektrální třídy G
- Spektrální třída F méně obyvatelných exoplanet o 52% než G,
- Spektrální třída K méně obyvatelných exoplanet o 67% než G,
- Spektrální třída M méně obyvatelných exoplanet o 90% než G,
- Vytvořili jsme nový model obyvatelných zón v závislosti na atmosféře exoplanet.