



# Na stopě obyvatelných planet

Tomáš Petrásek 2013

# Proč se zajímáme o obyvatelné planety?

- Protože naše Země je jednou z nich, a chceme, aby to tak zůstalo
- Abychom je poznali, až je uvidíme
- Výpočet Drakeovy rovnice – jsme sami?



# Kde hledáme?

- 300 miliard hvězd



**Our Planet  
Hunting  
Neighborhood**

**Sun** →

Most of the planets  
found to date lie  
within about 300  
light-years from  
our Sun.

# Je Země jedinečná?

## Najdeme „druhou Zemi“?

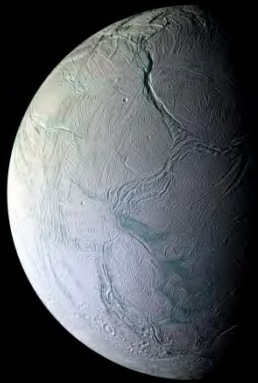
- Stabilní a osamocená hvězda
- Vhodná oběžná dráha
- Správná velikost
- Galaktická obyvatelná zóna
- Jupiter
- Vhodné množství plynů a vody
- Desková tektonika (!)
- Magnetické pole
- Měsíc (!)
- ...



Co je to obyvatelná planeta?

# Co je to obyvatelná planeta?

- Obyvatelná  $\neq$  obývaná!
- Obyvatelná pro člověka?
- Obyvatelná pro mikroorganismy?
- Obyvatelná pro život obecně?



# Co život potřebuje?

- Zdroj živin (prvky, sloučeniny...)
- Rozpouštědlo (voda, jiné)
- Zdroj energie (světelná, chemická, jiná)
- Vhodná teplota,  
tj. zdroj tepla  
(záleží na uvažovaném  
druhu života!)



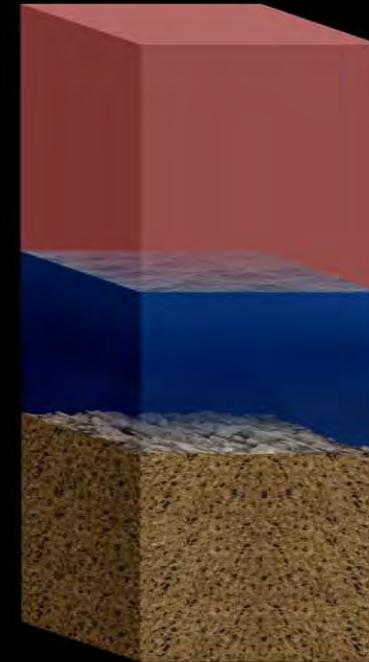
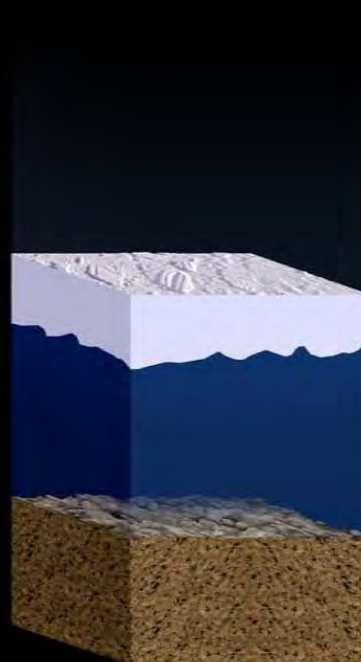
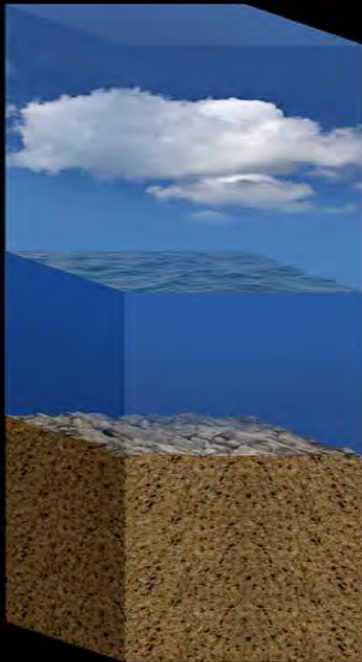
# Obyvatelná planeta z hlediska (astro)biologa

- Geologická činnost a geochemické cykly (zdroj minerálních živin, udržování hydrosféry, popř. atmosféry, stabilní teploty, popř. i chemické energie pro organismy)
- Stavební kameny života (uhlík, vodík, dusík, kyslík...)
- Vhodná teplota
- Kapalné rozpouštědlo
- Zde se soustředíme na život „podobný našemu“



# Obyvatelná planeta z hlediska (astro)biologa

Typy „obyvatelných planet“



# Obyvatelná planeta z hlediska astronoma

- Definice obyvatelné planety: *těleso s otevřenými oceány kapalné vody*
- Zanedbává endohydrosféry
- Nemusí být vždy slučitelná s pozemským životem (např. teplota  $> 100^{\circ}\text{C}$ )
- Koncept **obyvatelné zóny**

# Obyvatelná zóna

# Obyvatelná zóna

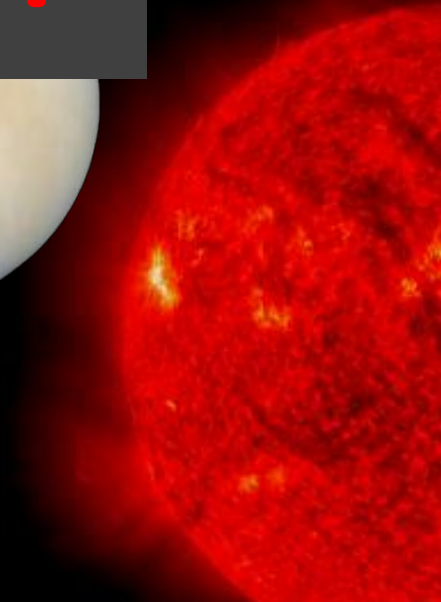
Zamrznutí

Obyvatelnost

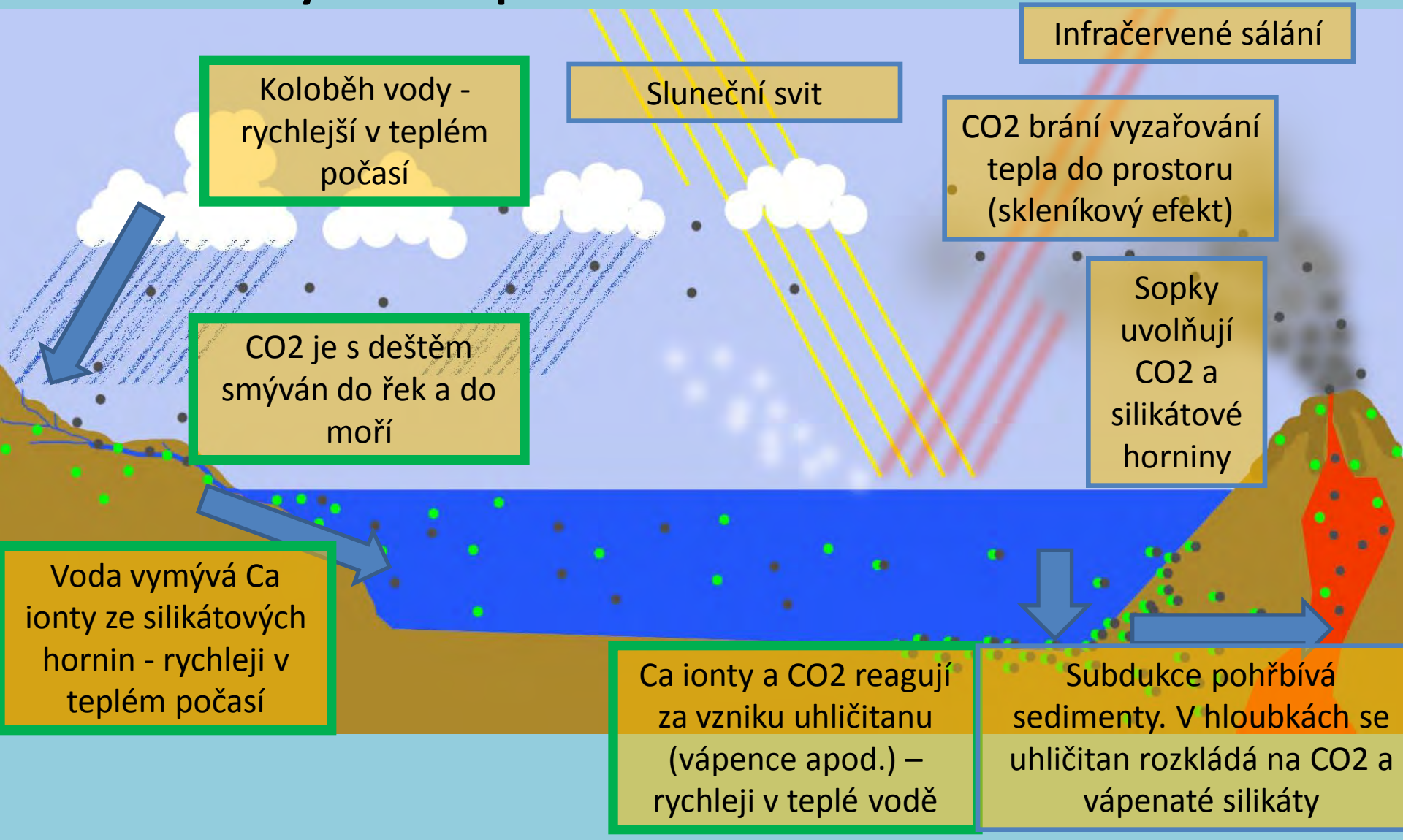
Dřevhřtí / odvodnění

Vzácná Země ?!?

Nedostatečná hmotnost – ztráta  
geologické činnosti a atmosféry



# Silikátový-karbonátový cyklus=planetární termostat



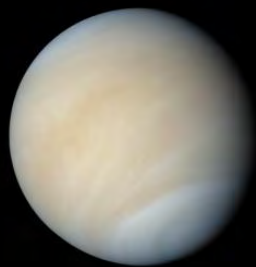
# Obyvatelná zóna

**Pádivý  
skleník**

**Vlhký  
skleník**

**Obyvatelná planeta**

**Globální  
zalednění**



**Venuše – suchá,  
žhavá, hustá CO2  
atmosféra**

**Hustá parní  
atmosféra,  
teplota kolem  
70 C,  
postupná  
ztráta vodíku**

**Stabilní teplota, atmosféra s nízkým  
obsahem H2O a regulovaným obsahem  
CO2, kapalná voda**

**CO2 z atmosféry  
vymrzá (suchý  
led), světlý  
povrch  
stabilizuje  
nízkou teplotu**

# Obyvatelná zóna

Pádivý  
skleník

Vlhký  
skleník

Obyvatelná planeta

Globální  
zalednění

A co kyslík???

Obyvatelné  
pro termofilní  
mikroby  
(vysoká  
teplota)

Obyvatel  
né pro  
člověka

Obyvatelné pro domorodé  
rostliny a živočichy (pro  
člověka jedovatá vysoká  
hladina CO<sub>2</sub>!)

Obyvatelné pro  
mikroby a  
bezobratlé –  
endohydrosféra  
nízká teplota

# Limity konceptu obyvatelné zóny



# Limity konceptu obyvatelné zóny

- Platí jen pro planety podobné Zemi
- Definice zatím teoretická
- Pojetí různých autorů se liší
- Chybí empirická „kalibrace“ modelů = výzva pro astronomy!

# Limity konceptu obyvatelné zóny

- Kopparapu a kol, 2013: 0,99 - 1,7 AU
- Země jako „téměř neobyvatelná planeta“
- Kasting a kol., 1993: 0,95 - 1,67 AU
- Zatažená planeta: 0,51 – 2,4 AU !

# Limity konceptu obyvatelné zóny

Zanedbávány:

- Mraky, atmosférická cirkulace
- Některé atmosférické plyny
- Rotace planet
- „Exotické“ planety
- Slapový ohřev
- ...

# Obyvatelná zóna v čase

- Obyvatelná zóna není stabilní ani věčná
- Spektrální typy hvězd
- OBAFGKM

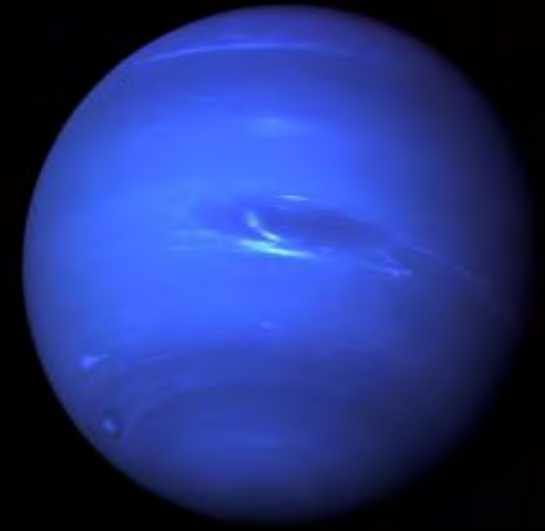


# Vlastnosti planet



# Hmotnost

## Nízká hmotnost

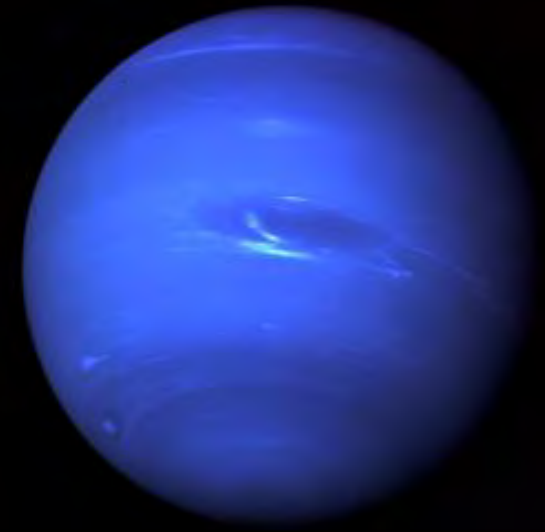


- Vliv na geologii
- Vliv na atmosféru
- Limit 0,07 – 0,2  $M_z$



# Hmotnost

## Vysoká hmotnost



- Geologie?
- Prvotní atmosféra
- Selhání termostatu?
- Limit 5 – 12  $M_z$  (?)

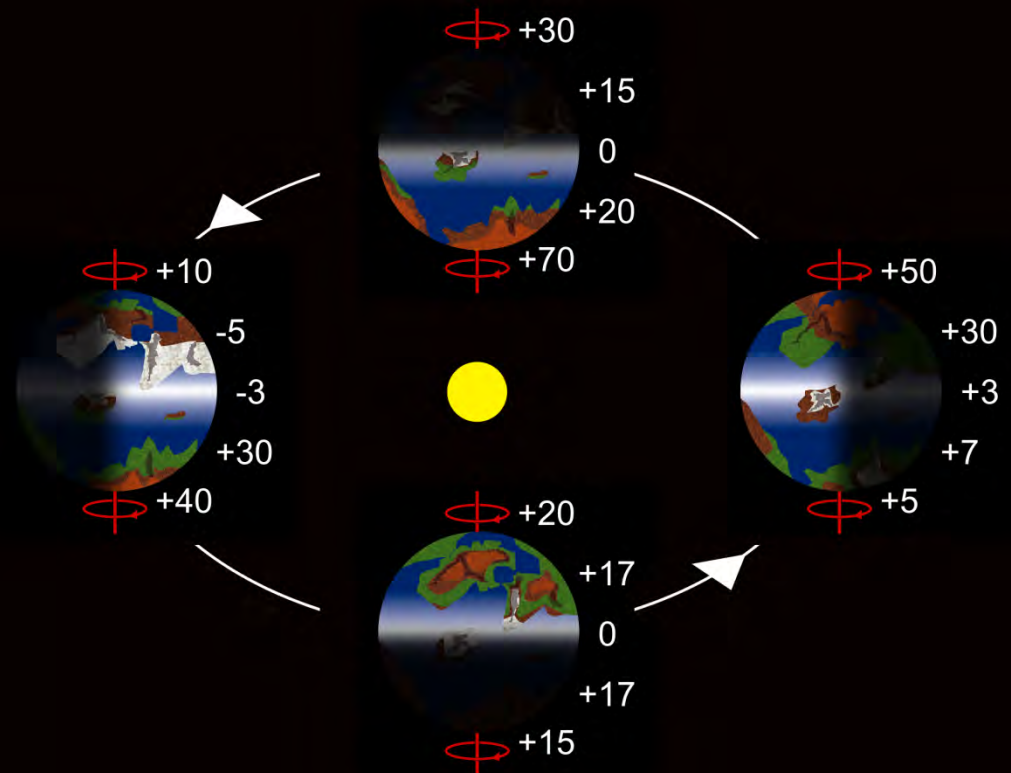
# Doba rotace

- Coriolisova síla, koloběh atmosféry
- Denní cykly
- Vázaná rotace



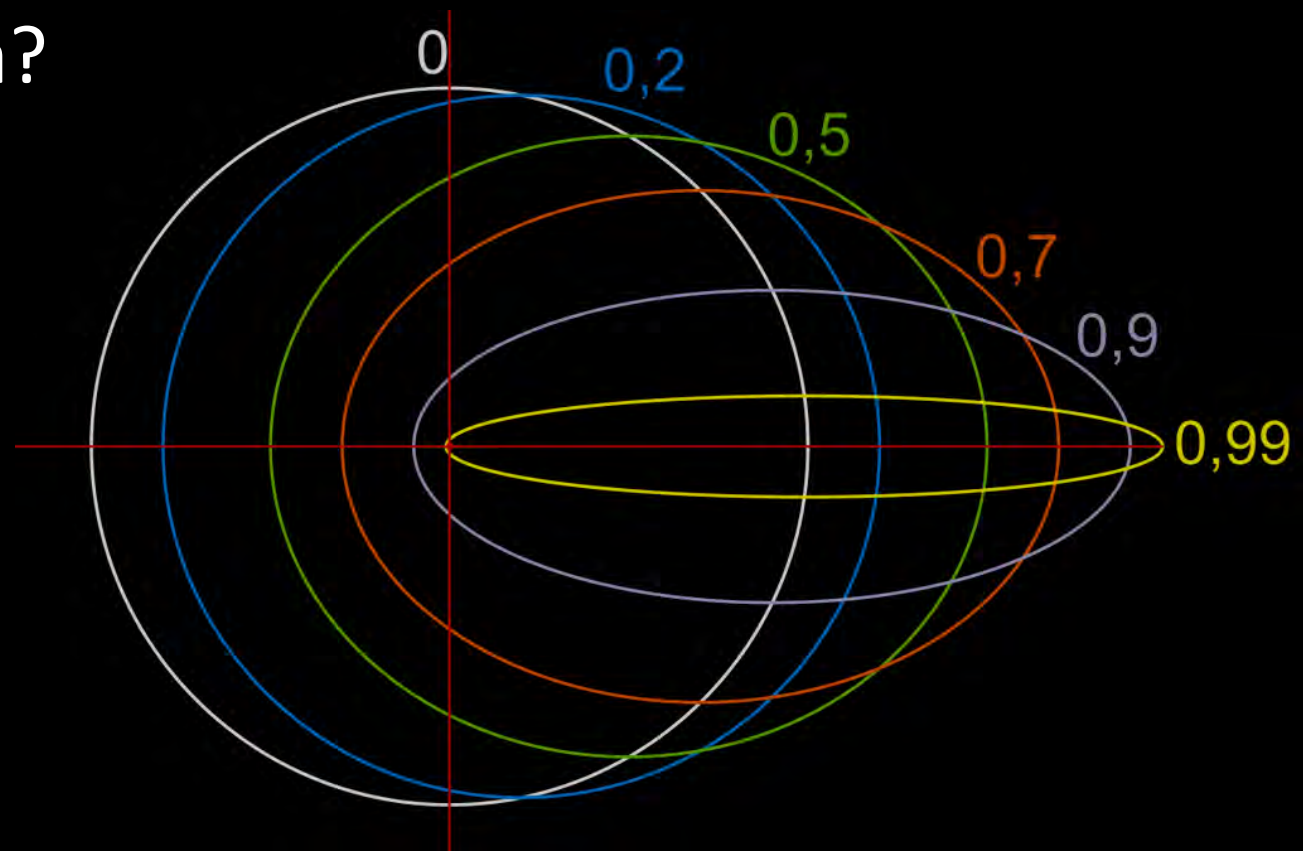
# Sklon rotační osy

- Možné nestability
- Vliv na klima



# Výstřednost dráhy

- Často značná!
- Kozaiův jev, planetární perturbace a migrace
- Periodicita?



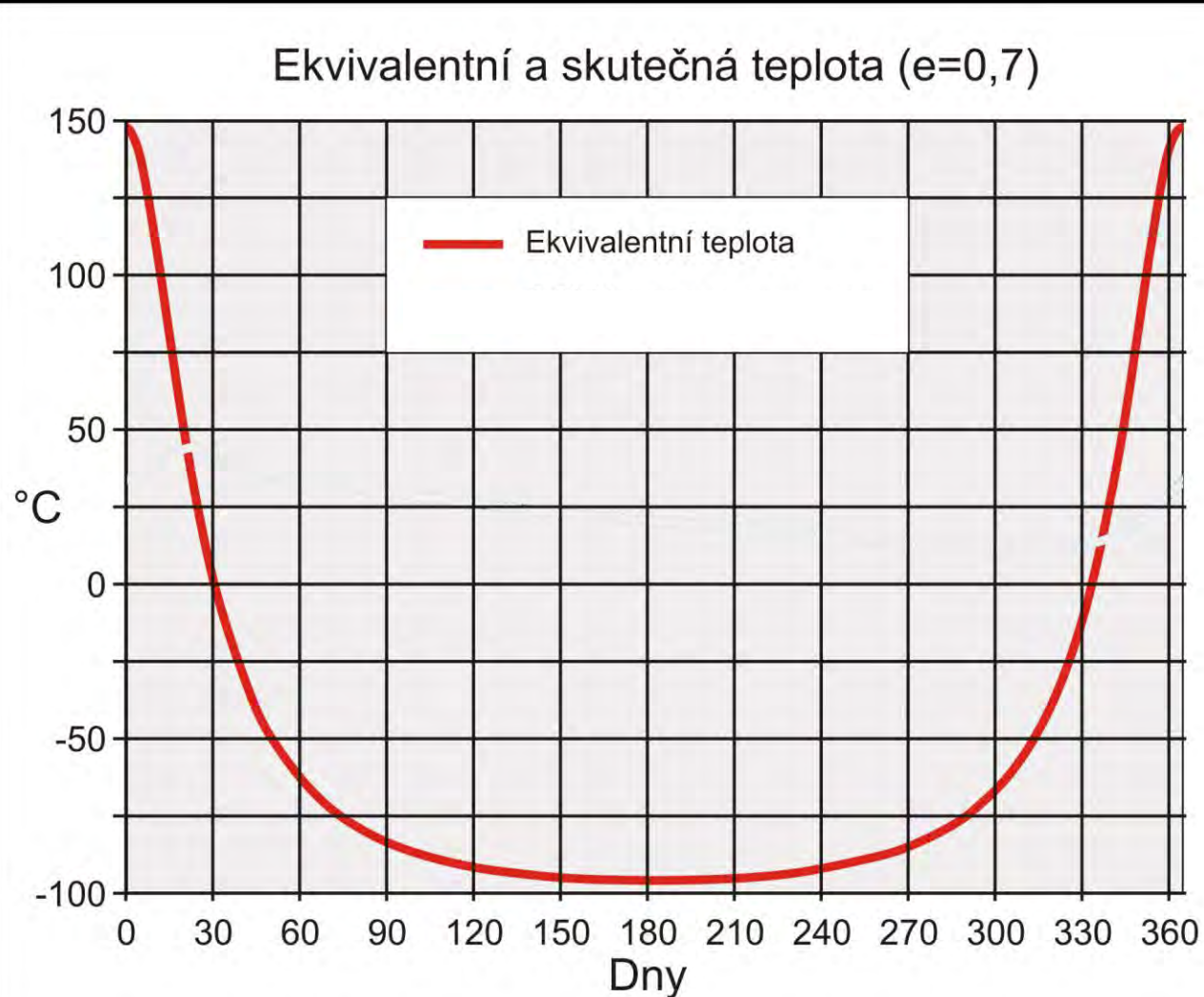
# Výstřednost dráhy

- Keplerovy zákony (zde  $e=0,7$ )
- Průměrná teplota výstředné planety je paradoxně vyšší!



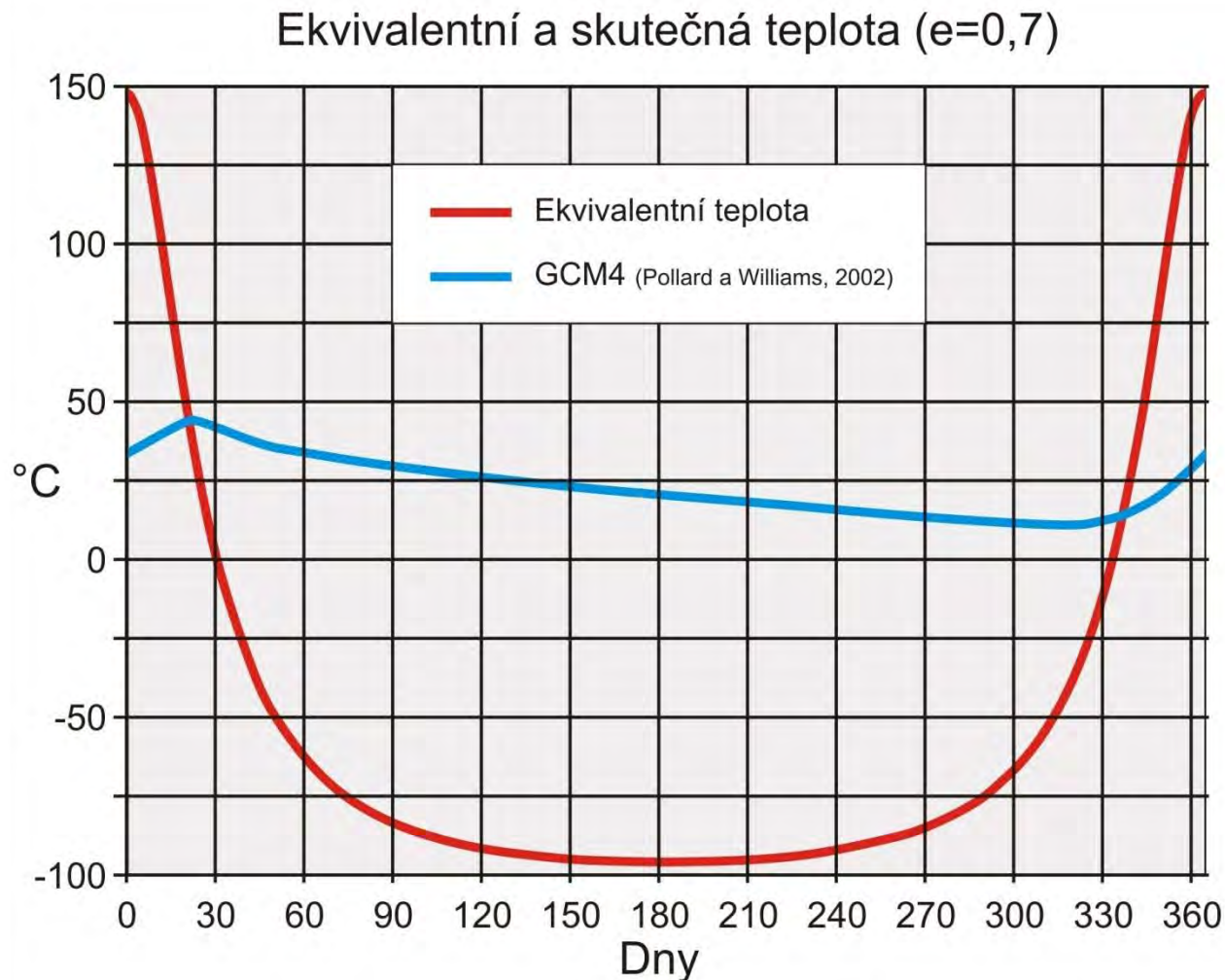
# Výstřednost dráhy

- Extrémní teplotní výkyvy?



# Výstřednost dráhy

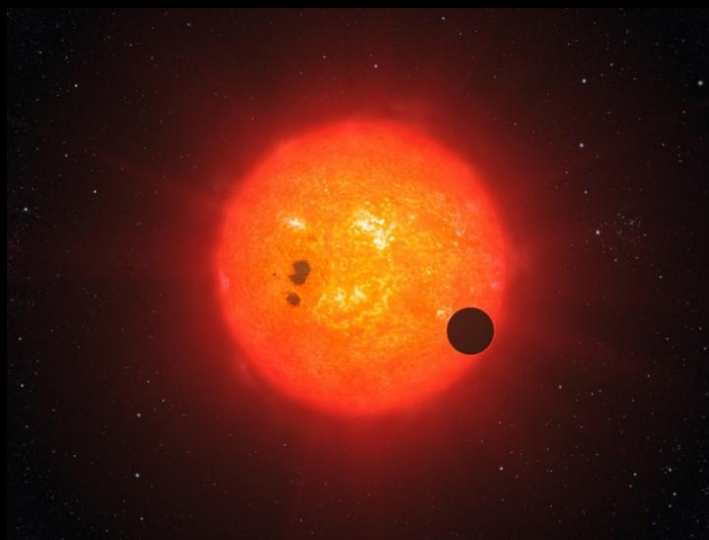
- Zmírněny tepelnou setrvačností oceánu a atmosféry!



# Exotické planety

# Exotické planety: superzemě

- Nejasná definice
- Těžké odlišení od planet neptunského typu
- Existují obyvatelné „superzemě“???
- Gliese 1214b – 6,6  $M_Z$ , hustota ( $1900 \text{ kg/m}^3$ ) neodpovídá „superzemi“

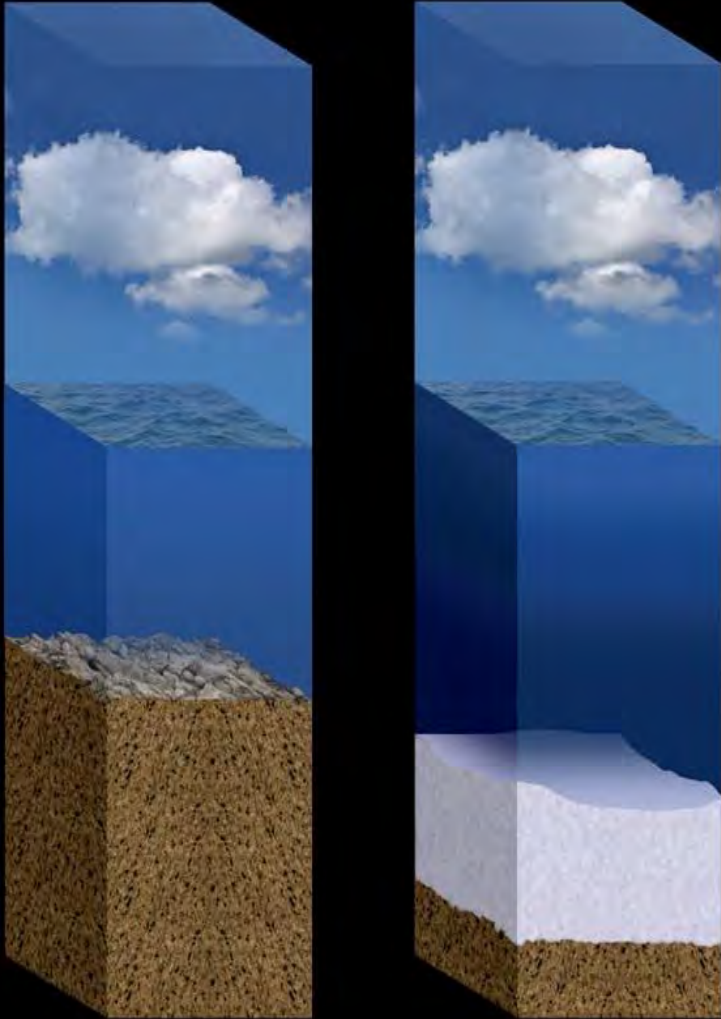


# Exotické planety: terestrické

- Planety bez kovového jádra
- Planety s jiným zastoupením prvků (Mg, Si, C, N...)
- Různé zastoupení radioizotopů
- Pouštní planety
- ...



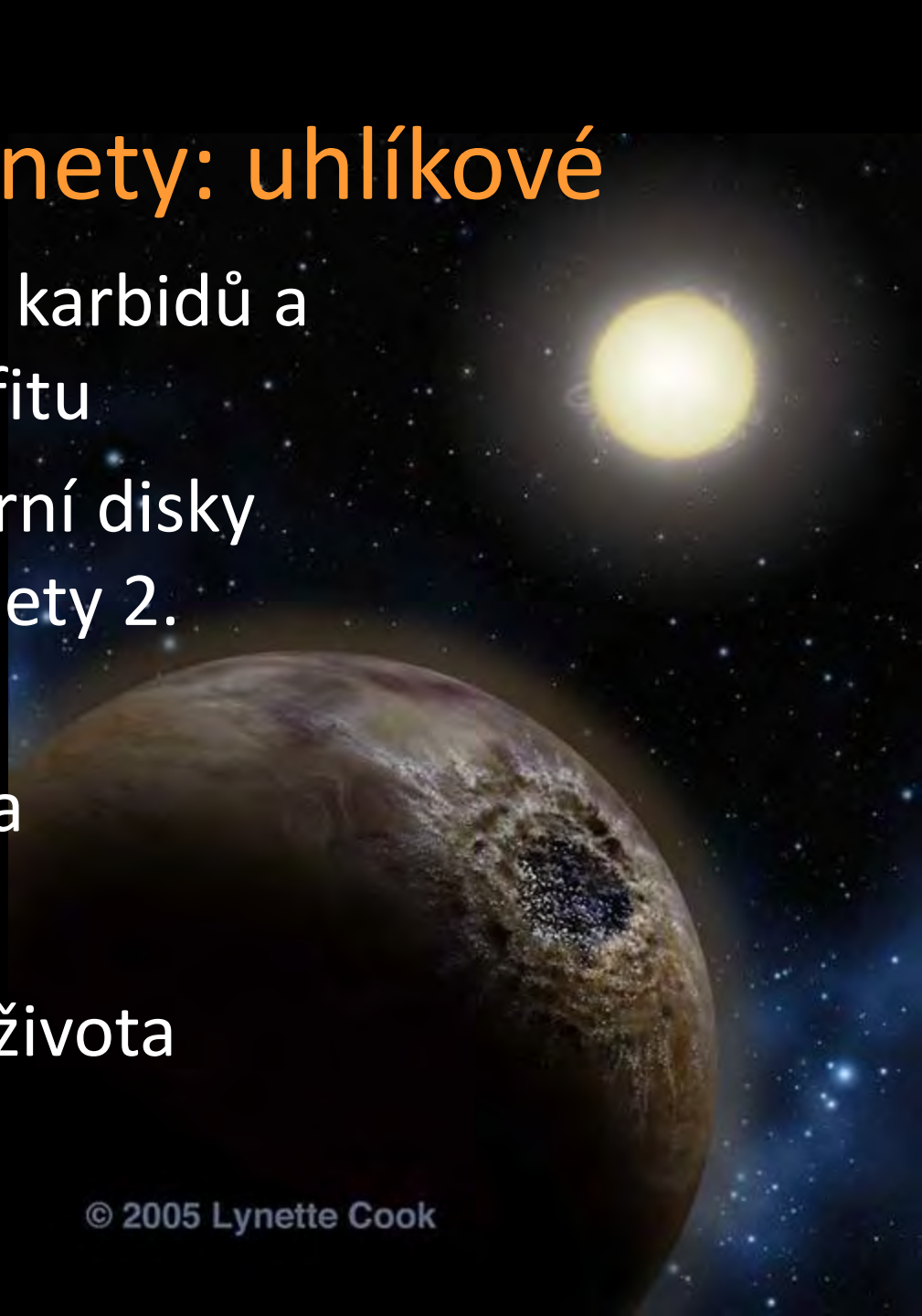
# Exotické planety: oceanické



- > 100 km vrstva vody/vysokotlakého ledu
- Původ
- Mají termostat???

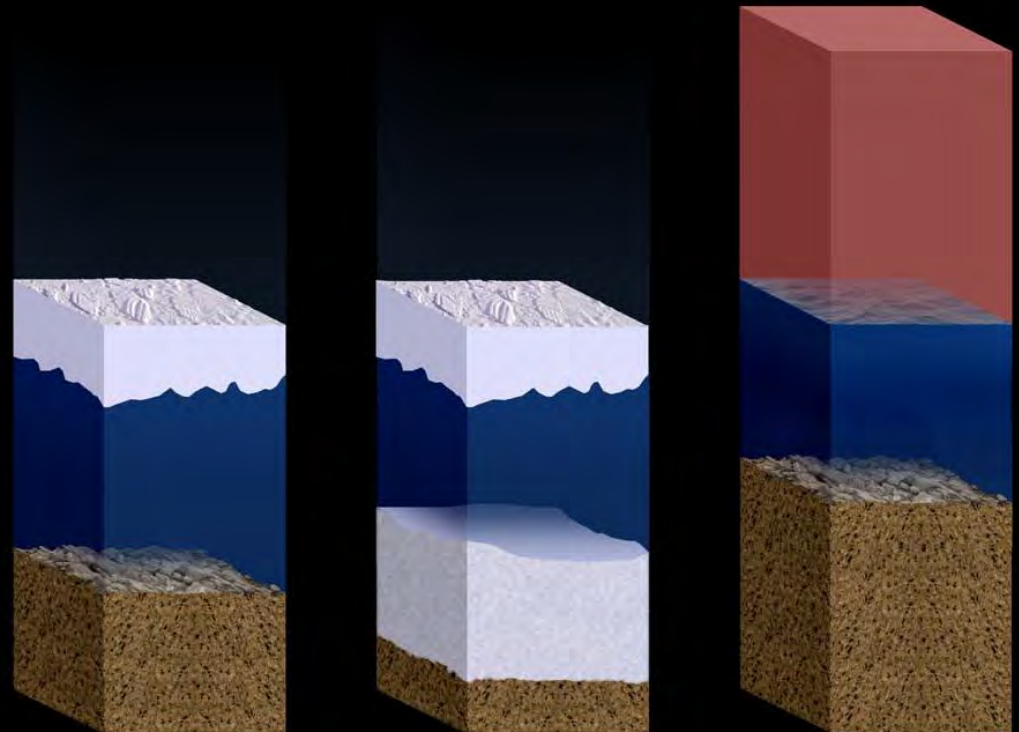
# Exotické planety: uhlíkové

- Železné jádro, plášť z karbidů a diamantu, kůra z grafitu
- Vznik – protoplanetární disky bohaté na uhlík, planety 2. generace
- Exotická rozpouštědla
- Exotická geologie
- Možnost exotického života



# Exotické planety: bezsluneční

- Vyvržené při formování hvězdných soustav



# Obyvatelné měsíce

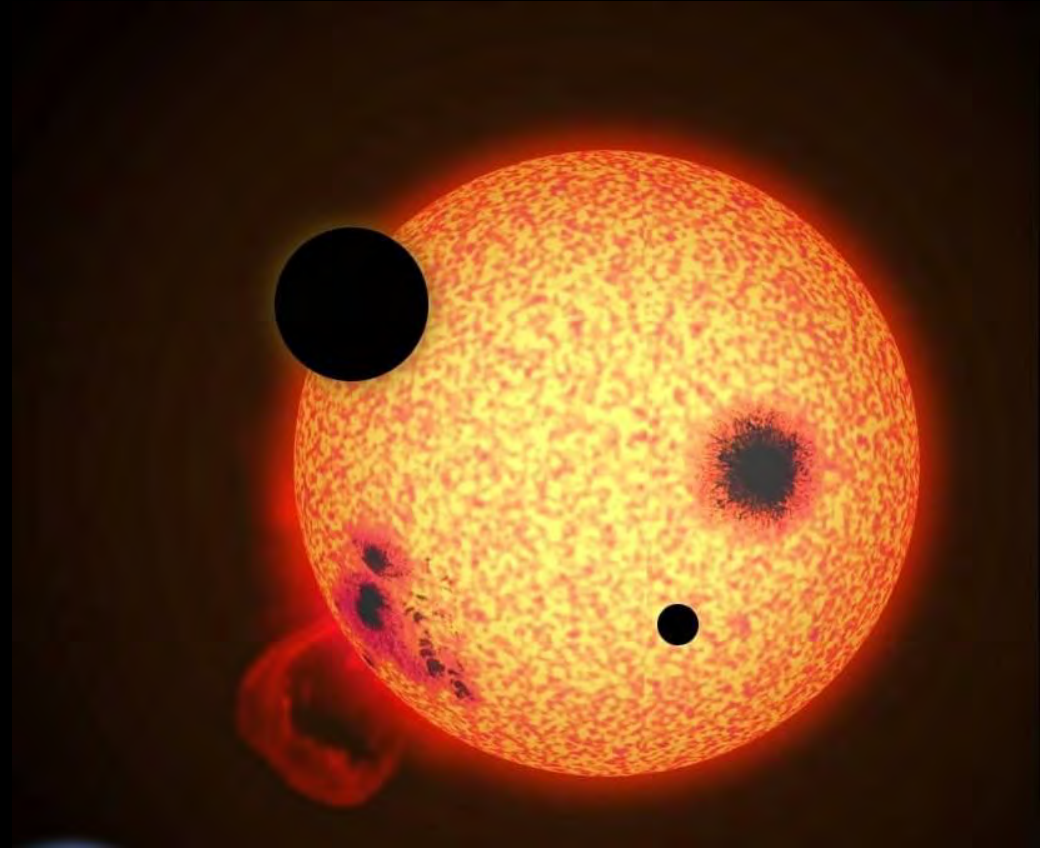


# Obyvatelné měsíce

- Velikost
- Slapové jevy
- Délka dne
- Radiační prostředí
- Četnost?

# Planety červených trpaslíků

- 75% všech hvězd
- Dlouhověcí (desítky až stovky miliard let)
- Erupce!





# Červení trpaslíci a vázaná rotace

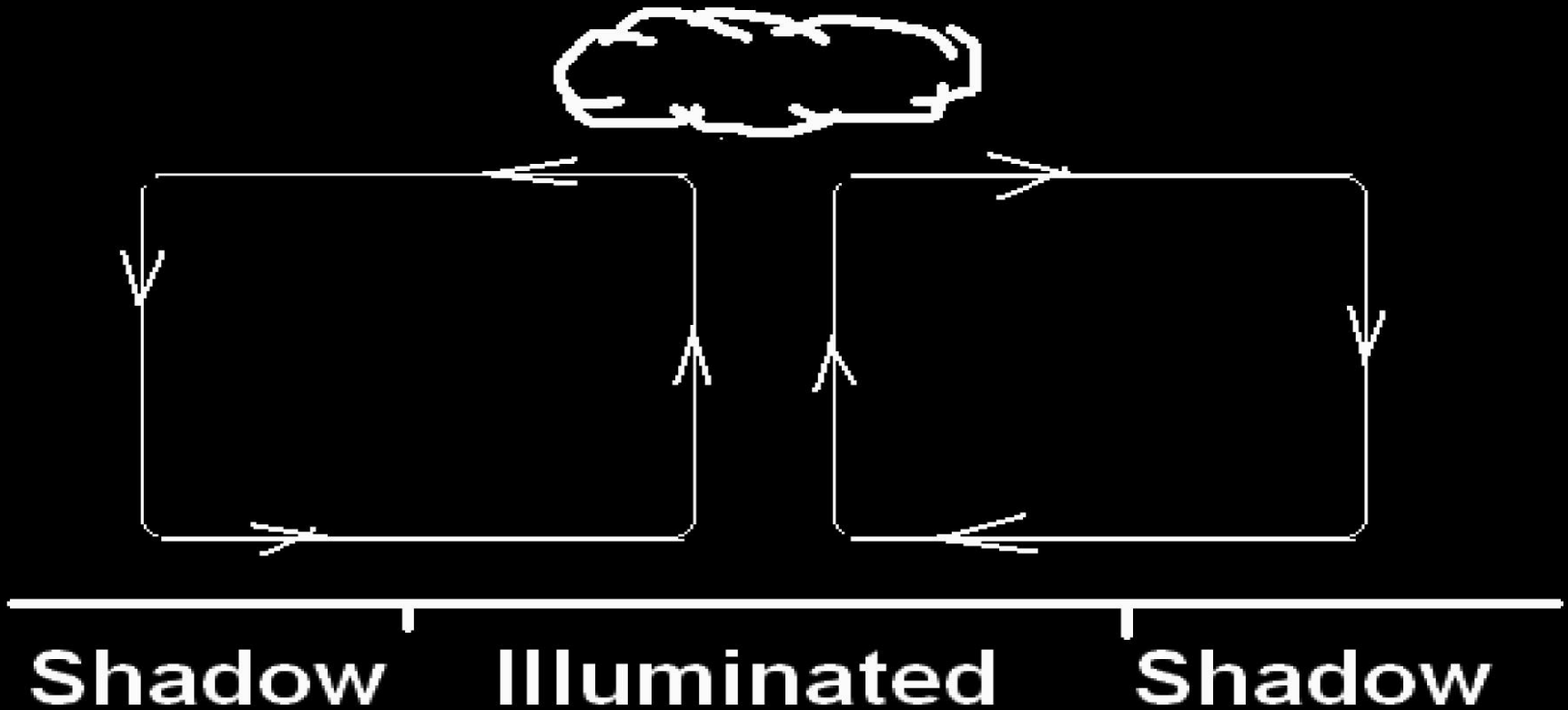
- Denní a noční strana
- Teplotní rozdíly
- Kolaps atmosféry a/nebo hydrosféry na noční straně?
- Magnetické pole?





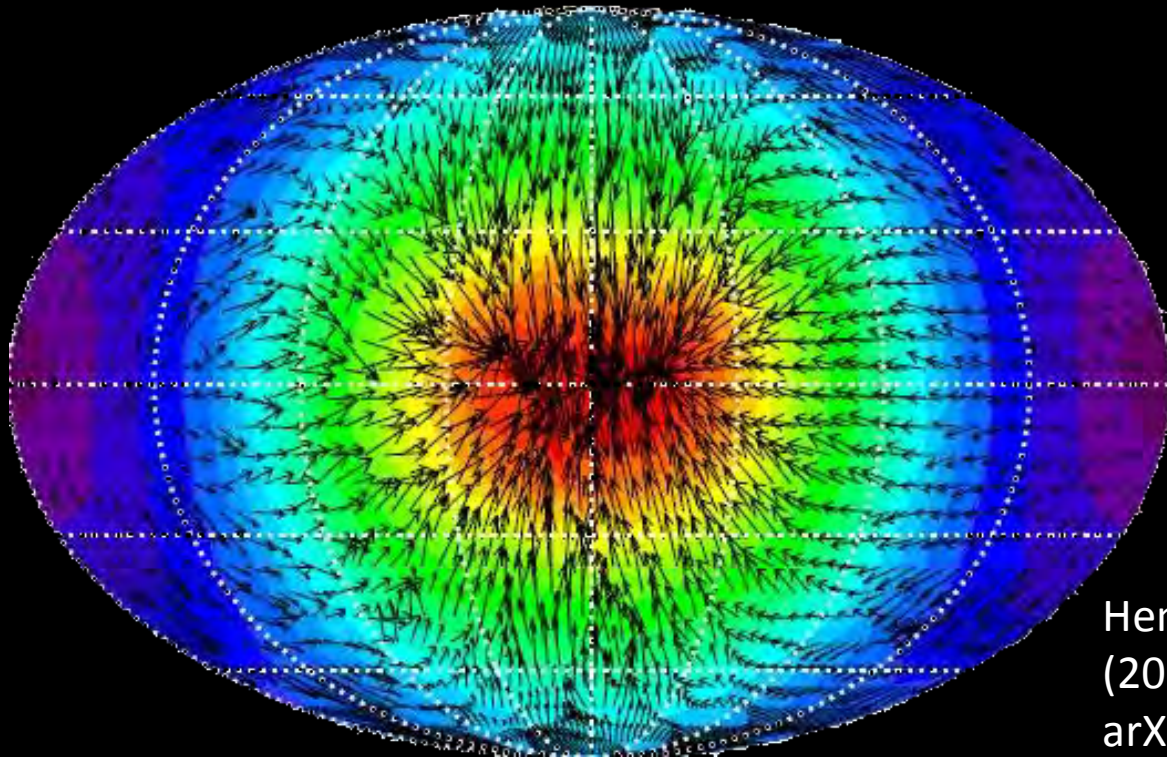
# Červení trpaslíci a vázaná rotace

- Základní pravidlo:



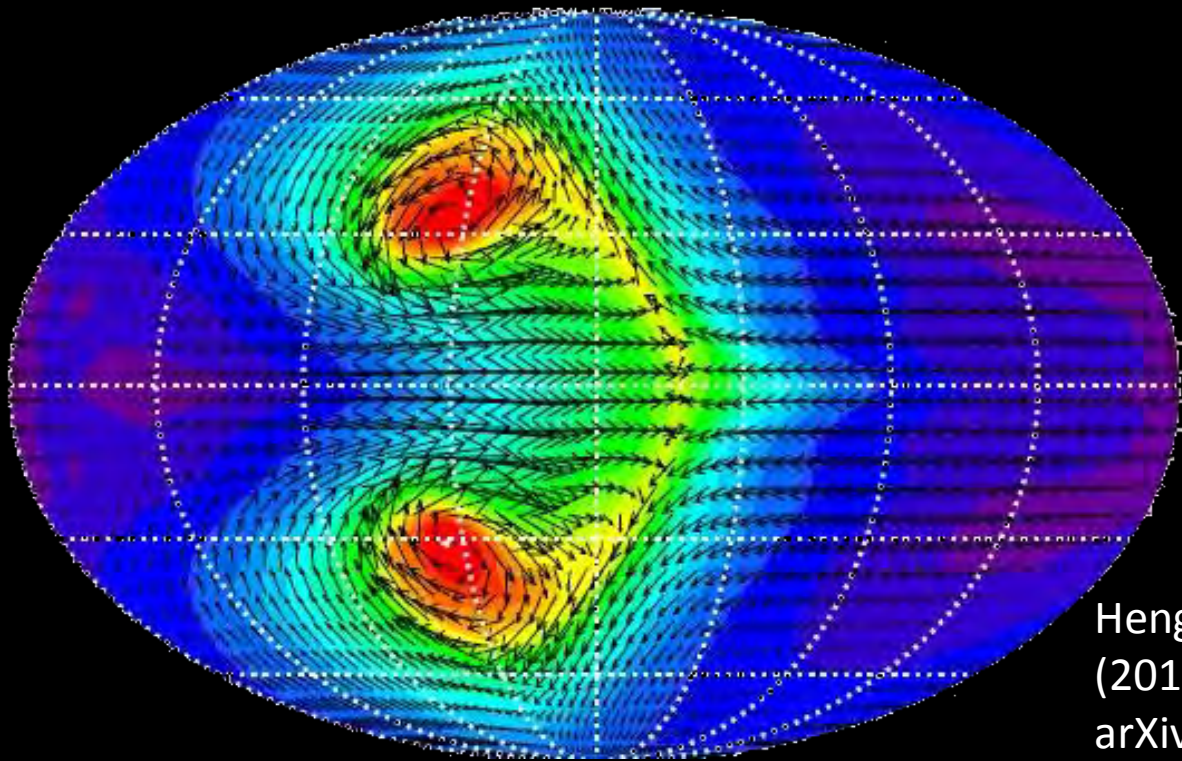
# Červení trpaslíci a vázaná rotace

- Teplý vzduch stoupá v podslunečním bodě, na noční straně se ochlazuje, klesá a vrací se zpět



Heng K, Vogt SS  
(2011),  
arXiv:1010.4719.

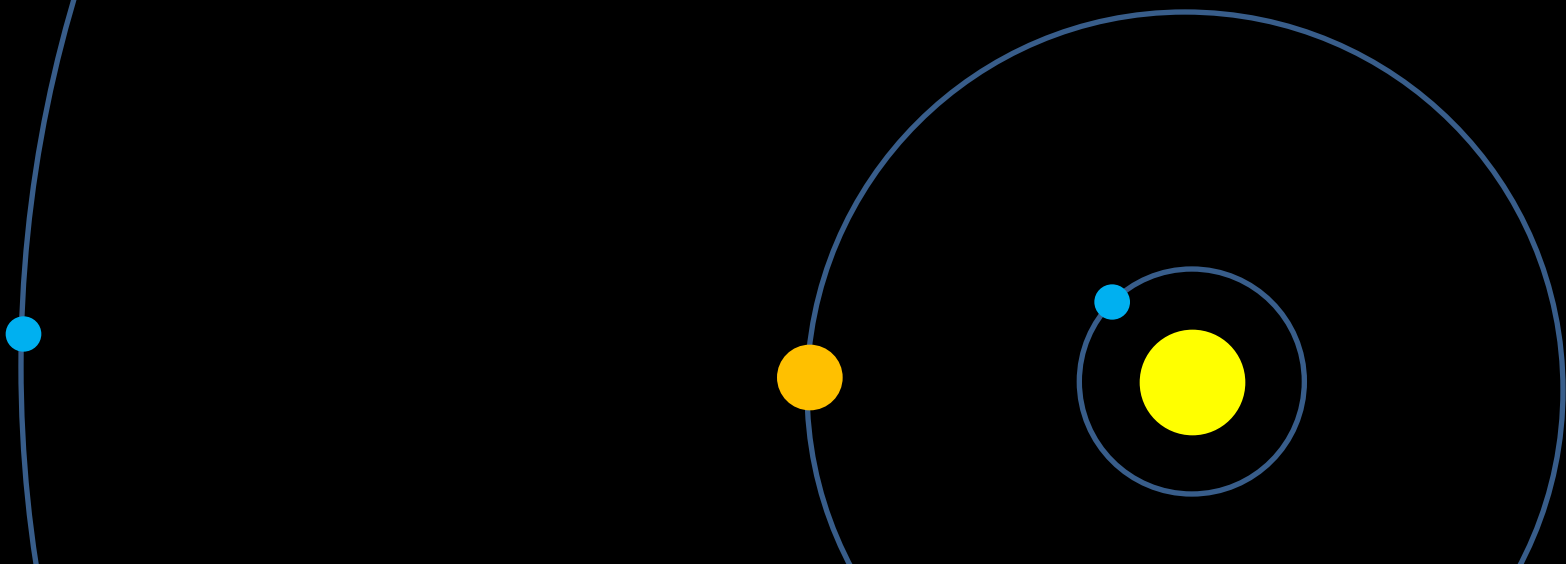
# Červení trpaslíci a vázaná rotace



Heng K, Vogt SS  
(2011),  
arXiv:1010.4719.

# Planety dvojhvězd

- Většina hvězd jsou dvojhvězdy
- Omezená stabilita planetárních drah
- Planety ve dvojhvězdách, cirkumbinární planety





Lynette Cook: CM  
Draconis



Jak je objavujeme?

# Jak je objevujeme?

- Celkem 861 potvrzených
- Radiální rychlosti (504+)
- Astrometrie
- Tranzity (294, 2740+ kandidátů)
- Mikročočky (16)
- Přímé zobrazení (31)

# Exoplanety v obyvatelné zóně





# Historie objevů

- 1992, 1995 – první objevené planety
- 1996 – plynní obři v obyvatelné zóně (16 Cygni Bb, 47 UMa b)
- 2007 – první „superzemě“ v obyvatelné zóně (Gliese 581 d)
- 2011 – cirkumbinární planeta v OZ (plynný obr) Kepler 16 (AB)b
- 2011 – planety  $<4M_{\oplus}$  v OZ (HD 85512b, GJ667Cc)

# Historie objevů

- Kandidáti od Keplera: 52+ planet v OZ, z nich 18 kandidátů na OP (záleží na definici!)

# Neuskutečněné projekty

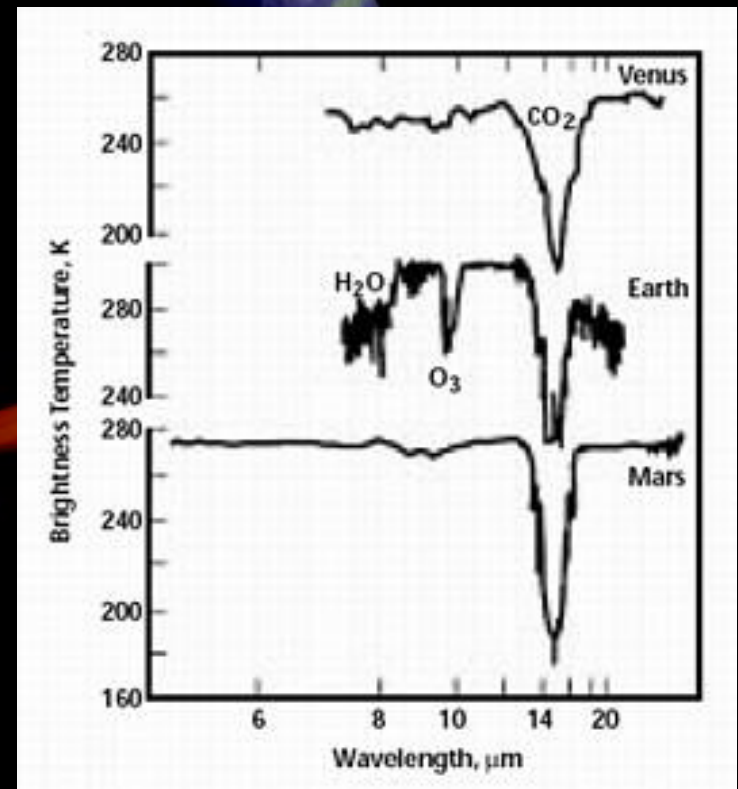
- Darwin (ESA) – skupina infračervených teleskopů (interferometr) pro přímé zobrazení a snímání spekter Země podobných planet
  - Projekt zrušen v r. 2007
- TPF (Terrestrial Planet Finder, NASA) – interferometr nebo koronograf
  - Projekt rovněž zrušen

# Budoucnost

- Gaia (2013) – tranzity, parametry hvězd
- Tess (2017) – tranzity
- Cheops (2017) – tranzity
- JWST (2018) – studium exoplanetárních atmosfér

# Jak identifikovat obyvatelnou planetu?

- Doposud jen kandidáti
- Perspektiva: spektroskopie, přímé zobrazení!

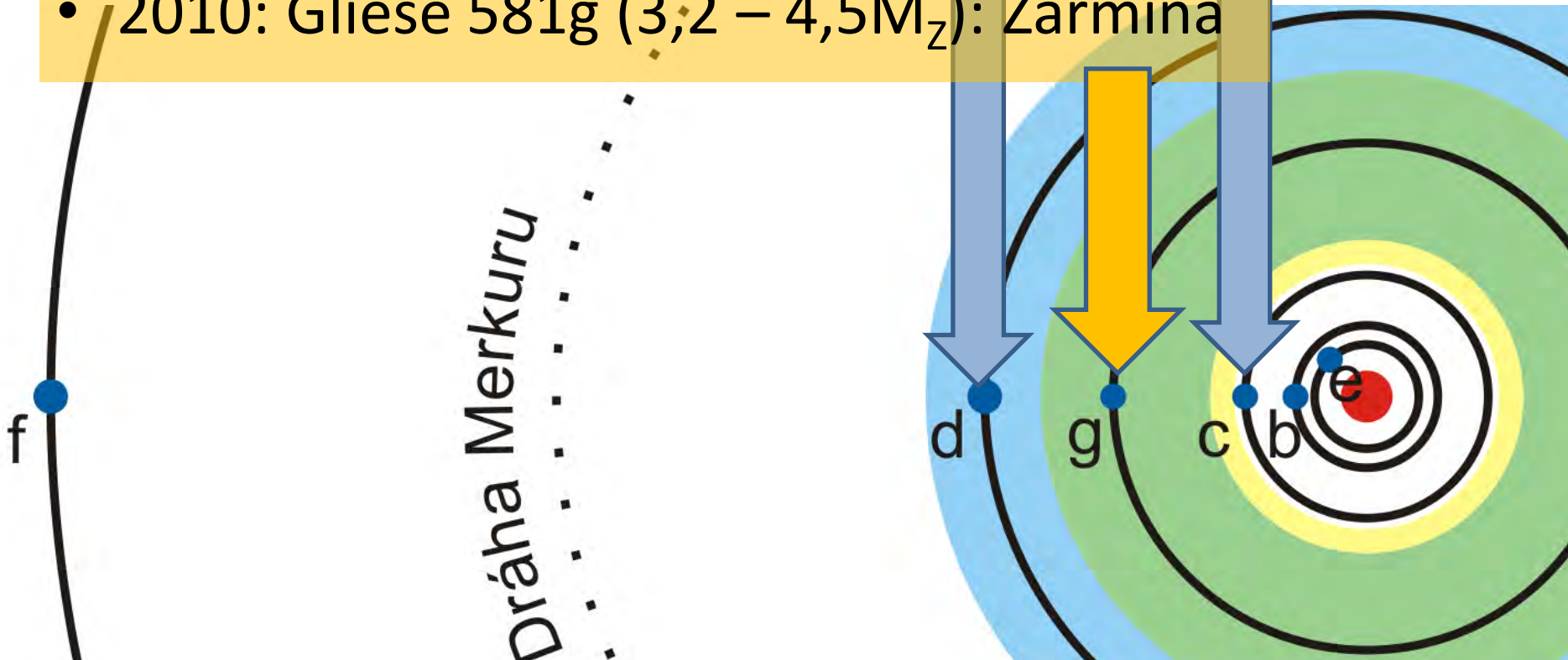


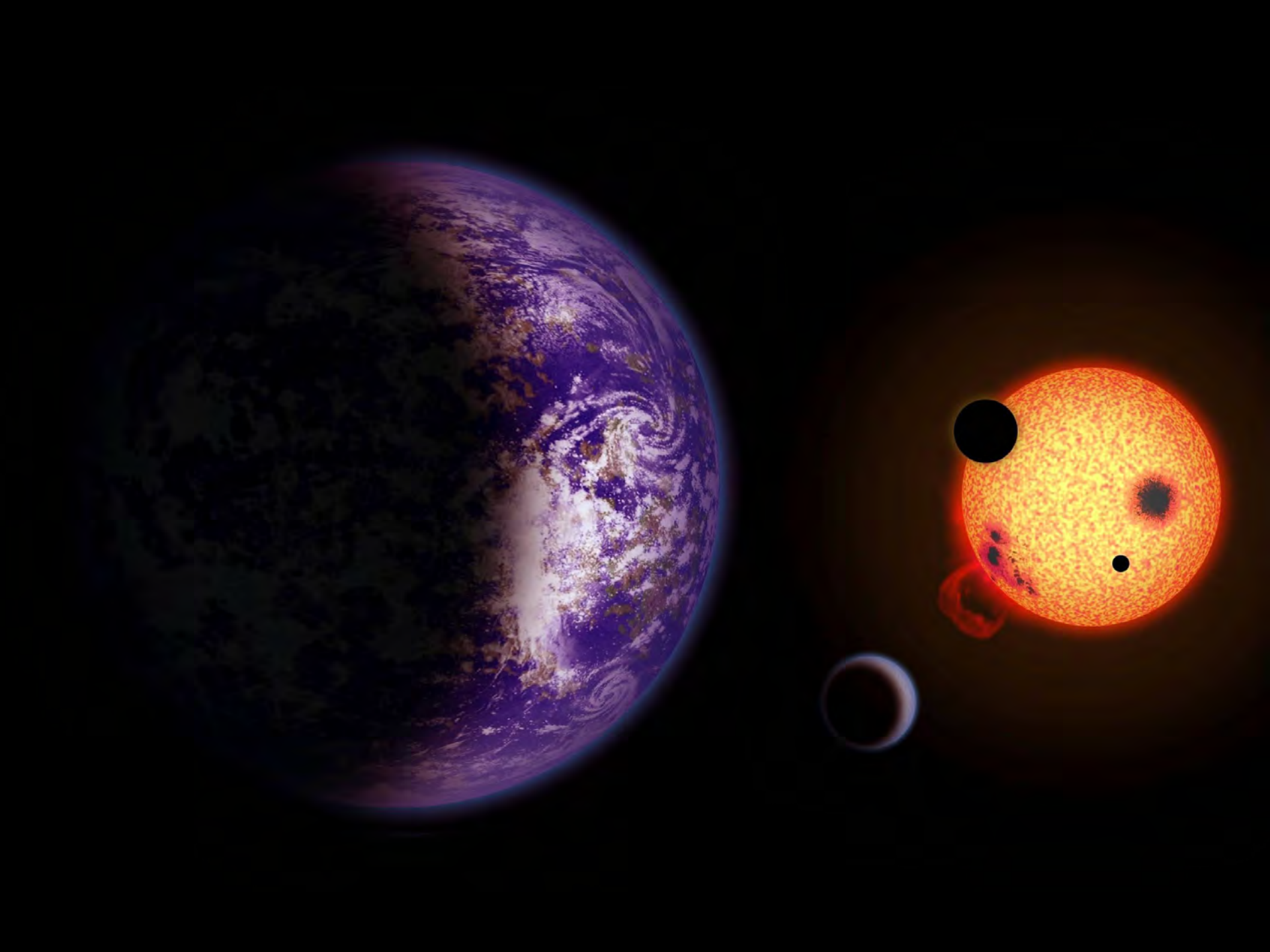
# Falešné druhé Země útočí – zásady sebeobrany:

- Nevěřte novinářům
- Nevěřte (příliš) neověřeným objevům
- Obyvatelnou planetu dosud bezpečně identifikovat nelze!
- Zdravý rozum především!

# Gliese 581

- 2007: Gliese 581c (5,6 – 7,5  $M_Z$ ) – „~~druhá Země~~“ ?  
Gliese 581d (7 – 10  $M_Z$ )
- 2010: Gliese 581g (3,2 – 4,5  $M_Z$ ): Zarmina







# Perspektivy kosmické civilizace

The background of the slide features a complex, futuristic space station or satellite structure. It consists of several interconnected spherical and cylindrical modules with intricate patterns on their surfaces. A prominent feature is a large, bright blue light source in the lower-left foreground, which appears to be a lens or a window, emitting a strong, radial glow. The overall scene is set against a dark, deep blue space background.

- Planety obyvatelné x oživené
- Planety vhodné x nevhodné pro vznik inteligentního života
- Planety vhodné x nevhodné k osídlení

# Perspektivy pro kosmické civilizace

- Již dnes jsme schopni detekovat planety o velikosti Země (za příznivých okolností)
- Brzy dokážeme studovat i podmínky na nich (atmosféra, teplota, oceány, biomarkery)

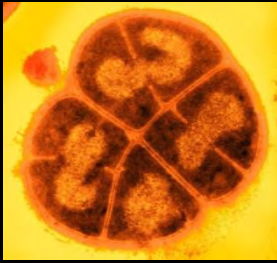
# Perspektivy pro kosmické civilizace

- Minimum „obyvatelných“ planet bude přijatelných pro osídlení „bez skafandru“
- Domorodá biosféra = sen vědců, noční můra kolonistů!
- Terraformovatelné planety (?)



**K čemu obyvatelné planety ?!**





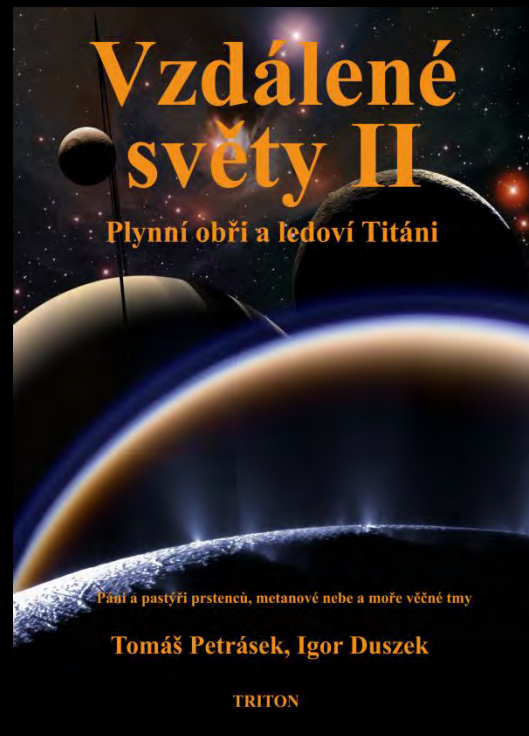
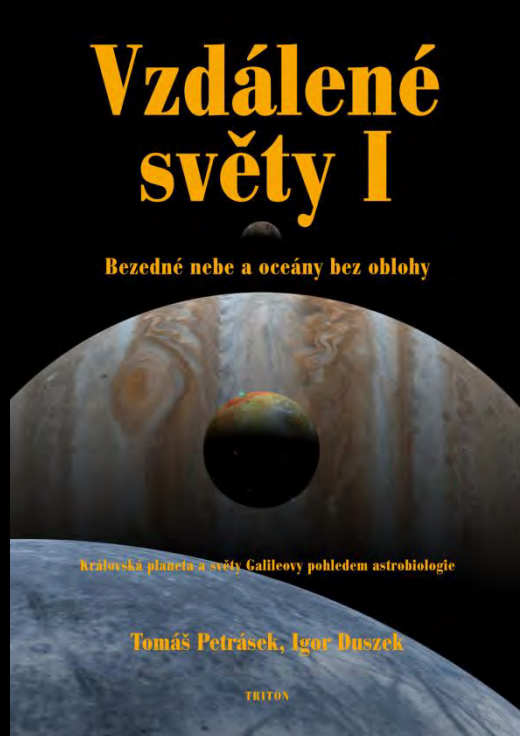
# Vzdálené světy

Od r. 2009, společně s Igorem Duszkiem



- Astrobiologie, Sluneční soustava a její zkoumání, plynní obři a ledová tělesa... a ještě mnohem více!

[www.vzdalenesvety.cz](http://www.vzdalenesvety.cz)



**Děkuji za pozornost**



# Odkazy:

- Kopparapu, Ravi Kumar, et al. "Habitable Zones around Main-sequence Stars: New Estimates." *The Astrophysical Journal* 765.2: 131.
- Stephen H. Dole (1962): *Habitable Planets for Man*. Blaisdell publishing company.
- Kasting JF, Whitmire DP, Reynolds RT. (1993): Habitable zones around main sequence stars. *Icarus*. 1993 Jan;101(1):108-28.
- Heath, M. J., Doyle, L. R., Joshi, M. M., & Haberle, R. M. (1999). Habitability of planets around red dwarf stars. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 29(4), 405-424.
- Heng K, Vogt SS (2011), arXiv:1010.4719.
- Heng, Kevin, and Steven S. Vogt. "Gliese 581g as a scaled-up version of Earth: atmospheric circulation simulations." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 415.3 (2011): 2145-2157.

# Odkazy:

- Stephen H. Dole (1962): Habitable Planets for Man. Blaisdell publishing company.
- Kasting JF, Whitmire DP, Reynolds RT. (1993): Habitable zones around main sequence stars. *Icarus*. 1993 Jan;101(1):108-28.
- Heath, M. J., Doyle, L. R., Joshi, M. M., & Haberle, R. M. (1999). Habitability of planets around red dwarf stars. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 29(4), 405-424.
- Haberle, R. M., McKay, C. P., Tyler, D., & Reynolds, R. T. (1996). Can Synchronously Rotating Planets Support an Atmosphere?. In *Circumstellar Habitable Zones* (Vol. 1, p. 29).
- Joshi, M. M., Haberle, R. M., & Reynolds, R. T. (1997). Simulations of the atmospheres of synchronously rotating terrestrial planets orbiting M dwarfs: conditions for atmospheric collapse and the implications for habitability. *Icarus*, 129(2), 450-465.
- Heng K, Vogt SS (2011), arXiv:1010.4719.
- Williams, Darren M.; Pollard, David (2002b): Earth-like worlds on eccentric orbits: excursions beyond the habitable zone. *International Journal of Astrobiology*, vol. 1, Issue 1, p.61-69.



# Zdroje

## Obrázky:

- NASA/JPL
- Bob Eggleton
- John R. Spencer, Tilmann Denk
- Heng K, Vogt SS
- Lynette Cook
- a další