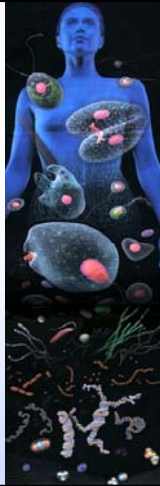


Hledání života ve vesmíru...

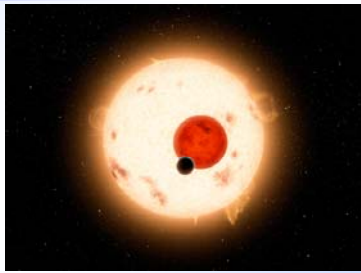
... aneb život za kosmickými
humny?

Vladimír Kopecký Jr.

Fyzikální ústav Univerzity Karlovy v Praze
Oddělení fyziky biomolekul
<http://atrey.karlin.mff.cuni.cz/~ofb/kopeccky.html>
kopeccky@karlov.mff.cuni.cz



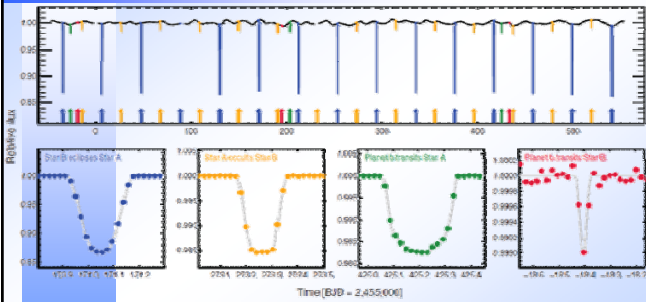
Tranzitní exoplanety... Planeta dvou sluncí



■ Fotometrie soustavy Kepler-16b.

■ L. R. Doyle et al., Science 333 (2011) 1602–1606.

Tranzitní exoplanety... Planeta dvou sluncí...

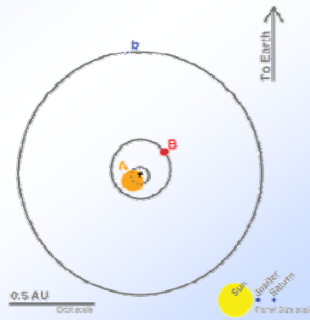


■ Fotometrie soustavy Kepler-16b.

■ L. R. Doyle et al., Science 333 (2011) 1602–1606.

Tranzitní exoplanety... Planeta dvou sluncí...

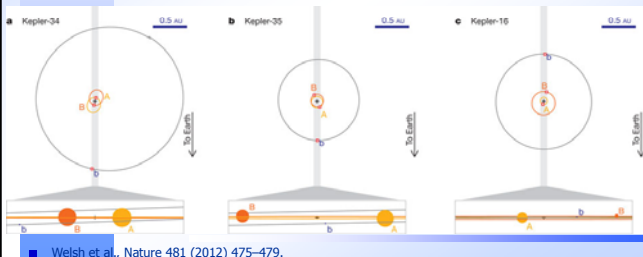
- Exoplaneta Kepler-16b – podobná Saturnu – obíhá kolem rudého (20 % MS) a oranžového trpaslíka (69 % MS)
- Hvězdy kolem sebe oběhnou za 41 dní
- Planeta kolem nich po kruhové dráze oběhne za 229 dní
- Oběh vně obyvatelné zóny
- Terestrické planety v obyvatelné zóně na nestabilních drahách
- Kepler-16b se **na příslušné dráze zformoval – nebyl zachycen, sic!**



■ L. R. Doyle et al., Science 333 (2011) 1602–1606. Welsh et al., Nature 481 (2012) 475–479.

Tranzitní exoplanety... Cirkumbinární exoplanety...

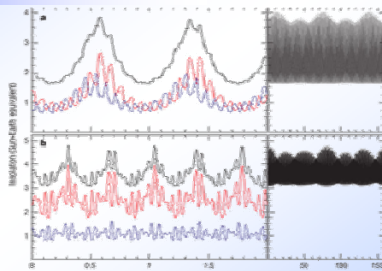
- Pozorovány zatím na nejnitřnějších ze stabilních orbitů (výběrový efekt)
- Problém tří těles může vést k neuzavřenosti dráhy...
- **1 % těsných dvojhvězd má zřejmě planety na cirkumplanárních drahách, tj. několik milionů v Galaxii!**



■ Welsh et al., Nature 481 (2012) 475–479.

Tranzitní exoplanety... Cirkumbinární exoplanety

- **Komplikované dráhy mohou vést k mutiperiodické insolaci povrchu exoplanet**
- U Keplera-34b a 35b je poměr mezi maximem a minimem 250 a 160 %
- U Venuše je to 1,9násobek 2,7% variace u Země
- Je třeba prozkoumat tento vliv na atmosféru potažmo na obyvatelnost exoplanet

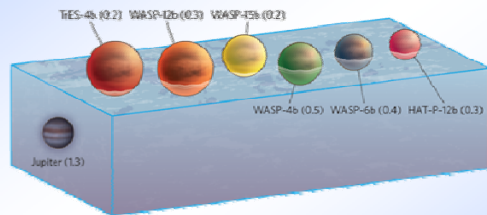


Variace osvitů exoplanet **a)** Kepler-34b a **b)** Kepler-35b v jednotkách insulace Slunce-Země. Černá křivka představuje celkový tok, červená a modrá jsou pak příspěvkem jednotlivých hvězdných složek

■ Welsh et al., Nature 481 (2012) 475–479.

Rozmanitost exoplanet

Plynní obři...



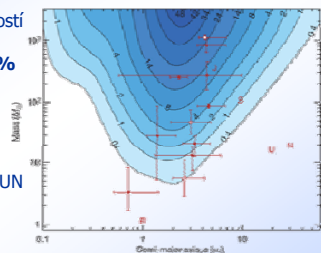
- Mnohem více **plynných exoplanet je řidších než voda** než plyne z teorie formování planetárních systémů
- Vyzařování smršťováním je naopak „zahušťuje“
- Na vlně je pravděpodobně **slapové působení** při oběhu na eliptické dráze

■ P.-G. Gu, Nature 465 (2010) 300–301. L. Ibgui et al., Astrophys J. 713 (2010) 751–763.

Mikročochující exoplanety

Planety jsou pravidlem

- Metody transitů i radiálních rychlostí nachází preferenčně exoplanety **blízko hvězd s odhadem 17–30 % hvězd s planetami**
- Gravitační mikročochování odhaluje i exoplanety na vzdálených drahách
- Projekty OGLE, MOA, Planet a μFUN z let 2002–07 ukazují pro vzdálenosti 0,5–10 AU
 - 17 % obřích Jupiterů (0,3–10 M_J)
 - 52 % chladných Neptunů (10–30 M_E)
 - 62 % super-Zemí (5–10 M_E)
- Planety nejsou výjimkou!

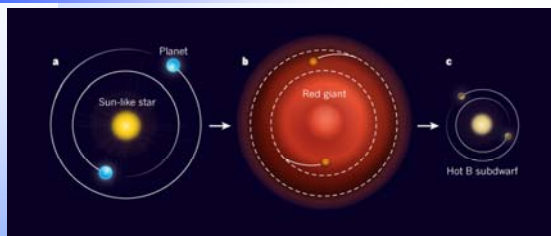


Citlivost detekce exoplanet v OGLE, MOA atd. Červená písmena odpovídají našim planetám. Nalezení planet nízkých hmotností je méně pravděpodobné.

■ A. Cassan et al., Nature 481 (2012) 167–169.

Rozmanitost exoplanet

Neslavné konce exoplanet

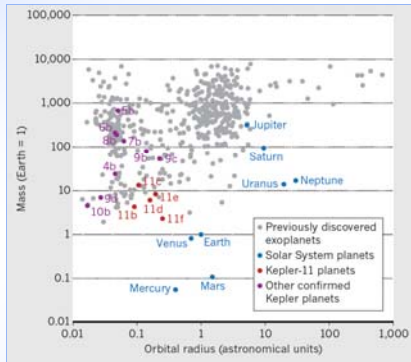


- Planety mohou přežít i hlubší „zanoření“ do rudého obra
- Jde pravděpodobně o **jádra plynných obrů** o velikosti Země
- Ve vzdálenosti 0,0060 a 0,0076 AU s orbitální periodou 5,7 a 8,2 hodiny
- Mohou se planety i nově zformovat po ukončení vývoje hvězdy?

■ E. M. R. Kempton Nature 480 (2011) 460–461. S. Charpinet et al., Nature 480 (2011) 496–499.

Rozmanitost exoplanet Země 2.0 na obzoru?

- Mezi exoplanetami **převažují planety Jupiterova typu**
- Horčí Jupiteri diskvalifikují exoplanety zemského typu v obyvatelných zónách**



E. S. Reich, Nature 470 (2011) 24–26.

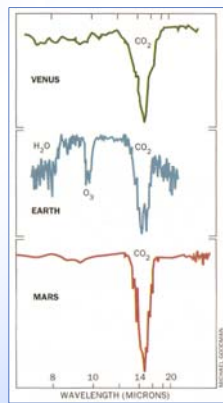
Rozmanitost exoplanet Země 2.0 na obzoru?



- Mise dalekohledu Kepler hledá exoplanety metodou tranzitů
 - Falešně pozitivní výsledky se odhadují na max. 10 %
 - Většina z dosud nalezených **2 321 kandidátů na exoplanety je jen o málo větší než Země**
 - Další pozorování ukáží, zdali jde o vodní či plynné nebo kamenné světy
- E. Hand, Nature 483 (2012) 522–523.

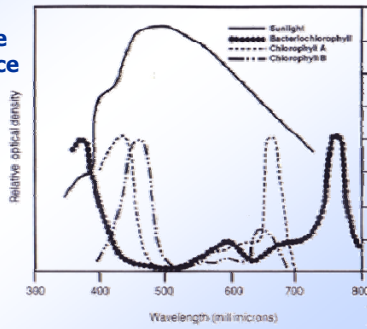
Spektrální charakteristiky Základní rysy obyvatelné atmosféry

- Pokud se v budoucnu podaří detekovat spektra exoplanet, bude možné analyzovat složení atmosféry
- Přítomnost CO₂** je možným znakem planety terestrického typu s hustší atmosférou
- Přítomnost O₃** svědčí o přítomnosti stínící vrstvy a kyslíkaté atmosféry
- Přítomnost CH₄ za současné přítomnosti O₂** ukazuje na možný organický původ (možné jsou podzemní rezervoáry)



Spektrální charakteristiky Univerzální chlorofyl?

- Spektrální distribuce chlorofylu **nekopíruje průběh záření Slunce**
- **Maximum slunečního záření zůstává nevyužito!**
- Může jít o fyzikálně-chemické důvody?!
- Fototrofie na jiných planetách **může mít stejné spektrální charakteristiky**



■ S. C. Morris: Life's solution. Cambridge University Press (2003) p. 91.

„...jsou-li tam tvoří jako my, jsou-li tam žáby taky?“

Drakeova rovnice

- N** – počet civilizací schopných v současnosti komunikace
- R** – roční přírůstek hvězd v Galaxii
- f_p** – podíl hvězd s planetárními systémy
- n_e** – průměrný počet planet u jedné hvězdy
- f_e** – podíl planet s podmínkami vhodnými pro život
- f_i** – podíl planet na nichž život vznikl
- f_i** – podíl planet na nichž se vyvinul inteligentní život
- f_c** – podíl planet s technickou civilizací
- L** – trvání technické civilizace



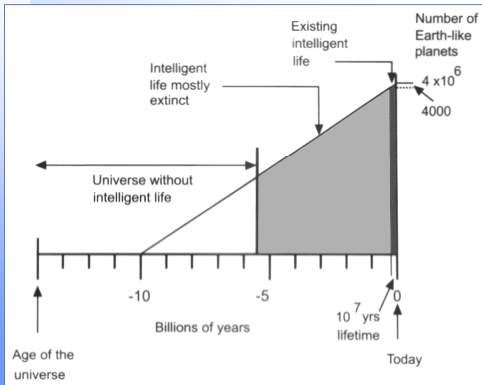
Hledání mimozemšťanů Drakeova rovnice

| Autor | f _e | f _i | f _i | f _c | L _s | L | N |
|----------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|-----------------|---------------------|
| Cameron (1963) | 1 × 10 ¹⁰ | 1 | 1 | 0,5 | 3 × 10 ⁹ | 10 ⁶ | 2 × 10 ⁶ |
| Sagan (1963) | 1 × 10 ¹¹ | 1 | 0,5 | 0,1 | 1 × 10 ¹⁰ | 10 ⁷ | 1 × 10 ⁶ |
| Rood a Trefil (1981) | 2 × 10 ⁶ | 0,01 | 0,5 | 0,25 | 1 × 10 ¹⁰ | 10 ⁴ | 0,003 |
| Goldsmith (1993) | 2 × 10 ¹⁰ | 0,5 | 0,75 | 1 | 8 × 10 ⁹ | 10 ⁶ | 1 × 10 ⁶ |
| Ulmschneider (2002) | 4 × 10 ⁶ | 1 | 1 | 1 | 1 × 10 ¹⁰ | 10 ⁷ | 4 × 10 ³ |

- **L_s** – je doba obyvatelnosti planety Zemského typ
- **R** – roční přírůstek hvězd v Galaxii = 10
- **f_p** – podíl hvězd s planetárními systémy = 0,1
- **n_e** – průměrný počet planet u jedné hvězdy = 1–0,1
- Existuje řada modifikací této rovnice...

Hledání mimozemšťanů

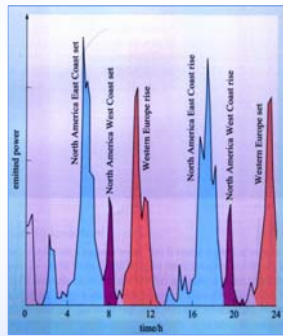
Drakeova rovnice



Hledání mimozemšťanů

Hurá, život ve vesmíru nalezen

- Sonda Galileo otestovala své přístroje při průletu kolem Země v prosinci 1990
- Fotografie ukázaly oblačnost a projevy počasí
- **Nalezla jasně stopy po O₂**
- Spektrum vykazovalo jasnou a a ostrou absorpční hranu v červené oblasti
- Podařilo se detekovat CH₄ v silné termodynamické nerovnováze
- **Výše zmíněné svědčí o přítomnosti života**
- Navíc byly zaznamenány periodické oscilace v rádiových signálech, které navíc měly přesné frekvence
- **Jde o praktickou demonstraci sondy, která úspěšně našla inteligentní život ve vesmíru**



■ C. Sagan et al., Nature 365 (1993) 715–721.

Hledání mimozemšťanů

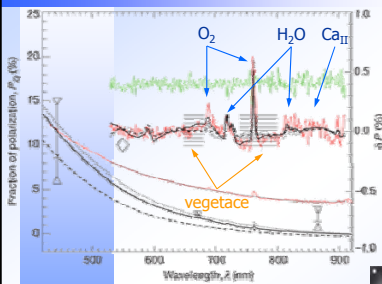
Detekce života na dálku...

25. duben 2011
9.00 UT

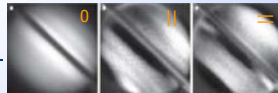


Oceán 18 %, vegetace 7 %, pouště 3 %, oblačnost 72 %

- **Spektropolarimetrie** – měření polarizované složky záření
- **Měřena lineární polarizace**
 - rozptylem na molekulách, aerosolech a oblačnosti
 - reflexí od pevnin a oceánů



| Oceán (%) zataženo | Oceán jasno | Vegetace zataženo | Vegetace jasno | Vegetace značeno |
|--------------------|-------------|-------------------|----------------|------------------|
| 48 | 40 | 0 | 12 | plná |
| 60 | 30 | 10 | 10 | čárkovaná |
| 44 | 56 | 0 | 0 | tečkovaná |



Saturn v polarizovaném světle

■ M. F. Sterzik et al., Nature 483 (2012) 64–66. C. U. Keller & D. M. Stam, Nature 483 (2012) 38–39.

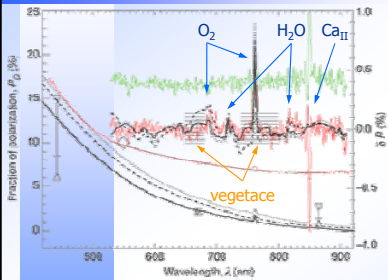
Hledání mimozemšťanů

Detekce života na dálku

10. červen 2011
1.00 UT



Oceán 46 %, vegetace 3 %,
pouště 1 %, oblačnost 50 %



- Světlo odražené od Měsíce snímáno 8,2m VLT dalekohledem v Chile
- $P_o(\lambda) = Q/I$, polarizovaný tok Q k celkovému I (závisí především na albedu)
- Citlivá na přítomnost vegetace na 10 %
- V budoucnu využít citlivější **kruhové polarizace** jako důkazu života (např. chlorofylu)

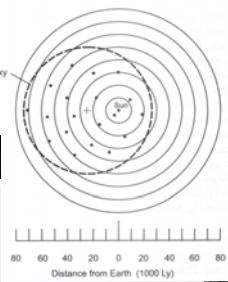
| Oceán (%) zataženo | Oceán jasně | Vegetace zataženo | Vegetace jasně | |
|--------------------|-------------|-------------------|----------------|-----------|
| 40 | 60 | 0 | 0 | plná |
| 30 | 60 | 0 | 10 | čárkovaná |
| 27 | 73 | 0 | 0 | tečkovaná |

■ M. F. Sterzik et al., Nature 483 (2012) 64–66. C. U. Keller & D. M. Stam, Nature 483 (2012) 38–39.

Hledání mimozemšťanů

Hlavně neztrácet optimismus

- 1959 - „Pátrání po mezihvězdném spojení“ (Coconino & Morrison, Nature)
- 1960 - Ozma (Frank Drake)
- 1974 - CETI
- 1988 - SETI



■ D. Schulze-Makuch & L. N. Irwin, Astrobiology 2 (2002) 105–121.

Hledání mimozemšťanů

Rádiové naslouchání projektu SETI...

- **SETI @ Berkely**
 - Analýza dat z 300m antény v Arecibo na Portoriku
 - SETI@home
 - SETI & spol. (725 k\$/rok)
- **Allen Telescope Array**
 - Soustava 350 antén o průměru 6 m (v provozu zatím 42 antén)
 - Bezprecedentní frekvenční (0,5–11,2 GHz) i plošný rozsah (17×VLA)
 - Užítí pro radioastronomii
 - SETI institut (projekt 50 M\$)
 - Trvalé finanční potíže...



Hledání mimozemšťanů

Rádiové naslouchání projektu SETI

■ Southern SETI

- Jeden z nemnoha projektu SETI na jižní polokouli
- Dvě 30m antény Argentinského radioastronomického institutu u Buenos Aires
- Planetární spol. (16,5 k\$/rok)



■ Projekt Argus

- Radioamatérské pozorování z ca. 147 radioteleskopů koordinováno SETI
- Amatéři (4 k\$/rok/anténa)



Hledání mimozemšťanů

Optické pozorování projektu SETI

■ SETI @ Berkely

- 0,76m dalekohled University of California, Berkley's Leuschner Observatory
- Hledání ns laserových pulsů

■ SETI Optical Telescope

- 1,8m dalekohled v Harvardu v Massachusetts
- Rovněž hledá ns laserové pulsy

■ Lick Observatory Optical SETI

- 1m dalekohled Lickovy observatoře v Berkeley
- Hledání laserových pulsů 2000–2007, momentálně bez financí...



Hledání mimozemšťanů

Hlavně neztrácet optimismus

- Radiová komunikace vyžaduje trvalé vysílání či příjem

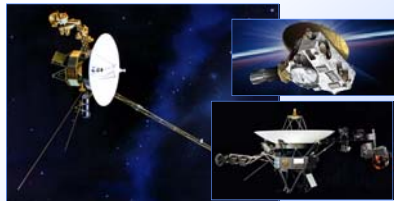
- Signál (radiový či optický) postupně mizí v šumu...

- Nejlepší metodou je posílat artefakty

■ Kde jsou ufoni?

- Neexistují
- Schovávají se
- Nezajímají se o nás
- Jsou rezignovaní (Cesty jsou příliš obtížné a vesmír je nehostinný)
- Jsou blízko...

| | | | | | |
|--------|---|----|--|---|------------------------|
| • | - | 1 | | --- | +12 |
| •• | - | 2 | | --- | +24 |
| ••• | - | 3 | | --- | +100 +10 ² |
| •••• | - | 4 | | --- | +1000 +10 ³ |
| ••••• | - | 5 | | 2+3=5 | |
| •••••• | - | 6 | | 8+17=25 | 5+8=13 |
| | - | 7 | | $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$ | 2 x 3 = 6 |
| --- | - | 8 | | $\frac{1}{3} + \frac{1}{3} = \frac{2}{3}$ | 13 x 28 = 364 |
| - | - | 9 | | $\frac{1}{5} + \frac{1}{5} = \frac{2}{5}$ | |
| - | - | 10 | | | |



■ C. Wright et al., Nature 431 (2004) 47–49.

Země je opravdu jedinečná...



... ale alespoň si můžeme užít samotu...
