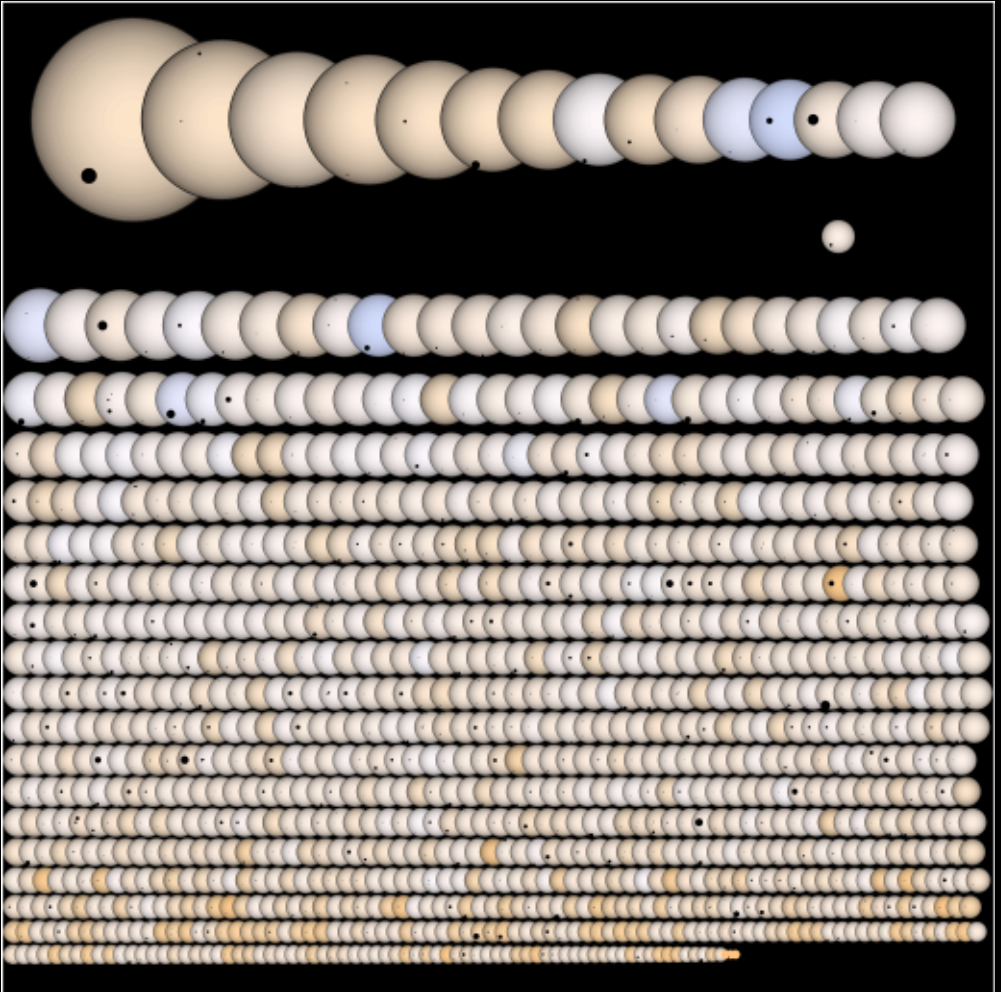




# GLIESE

Časopis o exoplanetách a astrobiologii



**Časopis Gliese** přináší 4krát ročně ucelené informace z oblasti výzkumu exoplanet, protoplanetárních disků, hnědých trpaslíků a astrobiologie.

Gliese si můžete stáhnout ze stránek časopisu, nebo si ho nechat zasílat emailem (více na [www.exoplanety.cz/gliese/zasilani/](http://www.exoplanety.cz/gliese/zasilani/)).

## **GLIESE 1/2011**

**Vydavatel:** Petr Kubala

**Web:** [www.exoplanety.cz/gliese/](http://www.exoplanety.cz/gliese/)

**E-mail:** [gliese@exoplanety.cz](mailto:gliese@exoplanety.cz)

**Šéfredaktor:** Petr Kubala

**Jaz. korektury:** Květoslav Beran

**Návrh layoutu:** Michal Hlavatý, [Scribus](#)

**Návrh Loga:** Petr Valach, Mikuláš Pätoprstý

**Uzávěrka:** 30. března 2011

**Vyšlo:** 29. dubna 2011

**Další číslo:** 8. července 2011

**ISSN:** 1803-151X

---

# OBSAH

<i>Úvodník</i>	5
<b>Téma: Podívejte se na zoubek 1235 možným exoplanetám od Keplera</b>	6
<b>Téma: Obyvatelní kandidáti od Keplera a astrobiologická sekera</b>	10
<b>Ze světa exoplanet</b>	16
Planet Hunters: Hledat exoplanety v datech z Keplera může každý!	16
ESPRESSO: budoucnost výzkumu exoplanet s vůní kávy	23
Dalekohled smetl Pluto, teď jde na lov planet u cizích hvězd	25
Hledání troskek u Psí hvězdy bylo negativní	26
Exoplanety s boubelatými matkami	28
WASP-33 b: rozbušila nejteplejší exoplaneta srdce své matky?	29
O Keplerovi se už také zpívá, lovec exoplanet má svou hymnu	31
Gliese 581 g podle nové studie na 99,9978% neexistuje	32
Skloněné oběžné roviny exoplanet	34
Může exoplaneta spustit magnetické divadlo a zachránit si tím život?	37
EChO: Mise pro detailní průzkum cizích světů postoupila do dalšího kola	38
KOI-730: dvě tranzitující exoplanety obíhají po stejné dráze??	40
14 Her: Před léty vylovili ze spektra exoplanetu, přímým zobrazením teď hledají zlou sestru	41
Severní HARPS aneb exoplanety od Keplera s příchutí Nobelovy ceny	43
Když se hvězda napapá a zchladne aneb mateřský kanibalismus	45
Třetí fundamentální teorie vzniku planet na stole?	47
Dvě miliardy obyvatelných exoplanet v Galaxii?	49
Exoplanety z druhého břehu II.: Keplerův otec a BOKS-1 b	51
Obyvatelné planety u bílých trpaslíků? Aneb po stopách druhé generace	54
Kataklyzmická proměnná HU Aqr aneb planetární systém se šílenými rodiči	57

---

<b>Sluneční soustava</b>	59
Šumivý oceán pod povrchem Enceladu	59
Atmosféra Marsu a uhličitany	61
<b>Nové exoplanety</b>	62
Exoplaneta se dvěma jmény aneb tranzitní fotometrie funguje	62
Kepler-10 b	63
Nová exoplaneta HAT-P-30 b aneb mají horké hvězdy extravagantní dcery?	65
HAT-P-28 b	66
HAT-P-29 b	67
HD 22781 b: nová boubelatá exoplaneta s kometárnými manýry	67
WASP-39 b: další exoplanetární grilovačka?	68
Další pekelná super-Země?	69
Kepler-11	69
<b>Situace na trhu</b>	72

## Úvodník

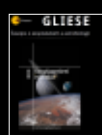
Obvyklým úvodníkovým folklorem je informace, že se toho za uplynulé tři měsíce stalo v našem oboru hodně. Stále dynamičtější výzkum exoplanet se konec konců odráží i na počtu stran časopisu.

Uplynulé čtvrtletí bylo ale tentokrát opravdu napěchované událostmi a objevy. Především tým Keplera v lednu vydával jeden článek za druhým a kromě 1235 kandidátů představil i několik zajímavých potvrzených exoplanet.

V době vydání tohoto čísla jste už ve svých rukou měli držet první výtisk exoplanetární ročenky, žel díky určitým problémům a časovému presu jsme byli nuceni projekt odložit o jeden rok. Na druhou stranu jednáme s jedním nakladatelstvím, takže vydání ročenky by v lednu či únoru příštího roku mělo proběhnout hladčeji a snad i s větším dopadem.

*PK*

**Titulní stránka:** Exoplanetární kandidáti, které objevil kosmický dalekohled Kepler a jejich mateřské hvězdy. Credit: Jason Rowe



---

## Téma: Podívejte se na zoubek 1235 možným exoplanetám od Keplera

Nevíme, zda zpráva z 2. února 2011 přepsala historii výzkumu exoplanet, ale co víme určitě, nalinkovala budoucnost tohoto oboru na mnoho let dopředu. Tým Keplera zveřejnil kompletní data z kosmického dalekohledu za období od 2. května do 17. září 2009. Většina týmů, které se ve světě zabývají hledáním a výzkumem exoplanet, si už objednáva velká balení kávy. Čeká je totiž spousta probdělých nocí...

Už dnes se spekuluje o tom, že většina týmu se bude nyní z velké části věnovat ověřování kandidátů z Keplera. Je to přece jen efektivnější a jednodušší, než hledání exoplanet „naslepo“.

Tým Keplera včera představil 1235 kandidátů na exoplanety. Je vhodné říci, že se nejedná o skutečné (potvrzené) planety. Jejich existenci bude nutné teprve potvrdit, takže v oficiálních katalozích je zatím nenajdete. Potvrzování exoplanet měřeními radiálních rychlostí půjde pomalu. Zatímco Kepler sleduje nepřetržitě vybrané desítky tisíc hvězd, pozemské spektrografy musí získat spektra každé hvězdy zvlášť. Navíc se musí potýkat se střídáním dne a noci, špatným počasím a mnoho spektrografů je instalováno na největších světových dalekohledech, které jsou využívány i k jiným účelům.

Velký problém bude s ověřováním menších kandidátů. Přesnost současných spektrografů je okolo 1 m/s, což na podobné „kousky“ nestačí. Budeme si muset počkat na novou generaci přístrojů nebo důvěřovat týmu Keplera a jejich metodám, které umožňují ověřit existenci planet jinými postupy (respektive zpřesnit některé údaje).

Kepler od 2. května do 17. září po dobu 132 dní pozoroval celkem 156 453 vybraných hvězd v souhvězdích Labutě, Lyry a Draka. Cílem je měřit jasnost těchto hvězd. V případě šťastné náhody přechází planeta z našeho pohledu před diskem své hvězdy, což se projeví jako dočasný pokles jasnosti hvězdy. Objeveno bylo celkově 1235 exoplanetárních kandidátů, přesněji pak:

68 kamenných exoplanetárních kandidátů o velikosti Země a menší (do poloměru 1,25 Země)

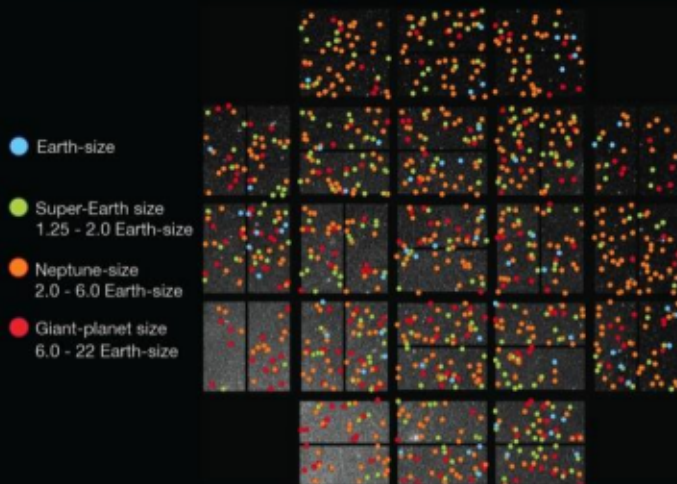
288 kamenných exoplanetárních kandidátů typu super-Země (poloměr 1,25 až 2 Země)

662 menších ledových obrů typu Neptun o poloměru 2 až 6 Zemí.

165 exoplanetárních kandidátů o velikosti Jupiteru (asi 6 až 15 Zemí)

19 exoplanetárních kandidátů je větší než Jupiter (15 až 22,4 poloměrů Země)

## Locations of Kepler Planet Candidates



**obr.1** Rozmístění kandidátů v zorném poli kosmického dalekohledu Kepler. Barevná legenda odpovídá velikosti kandidátů v násobcích poloměru Země. Credit: NASA

### Před Keplerem...

Důležitost tohoto objevu dokreslí pohled do katalogu již potvrzených exoplanet. Astronomům se zatím podařilo nalézt asi 525 planet mimo Sluneční soustavu, z toho 110 planet tranzituje (byly objeveny stejnou metodou, jakou používá Kepler). Ze zmíněných 110 tranzitujících a potvrzených exoplanet jich Kepler našel celkem 16 (15 tým Keplera a 1 exoplaneta již byla potvrzena jiným týmem). První exoplaneta byla objevena v roce 1995 (respektive u pulsaru již roku 1992), první tranzitující exoplaneta pak v roce 1999. Kepler za pouhé čtyři měsíce počet tranzitujících exoplanet možná až zdesetinásobil!

Pokud někdo čte články opravdu pozorně a hledá v nich chyby, pak se možná po přečtení údajů výše zaradoval. Sečte-li všechny cifry v seznamu, dostanete se k číslu 1202 kandidátů a nikoliv k avizovanému počtu 1235. Proč? V celkové sumě je totiž zahrnuto 15 již potvrzených exoplanet z Keplera a také 18 kandidátů, u nichž byl zatím pozorován pouze jeden tranzit.

---

Zmíněných 1235 kandidátů bylo odhaleno u 997 hvězd, což znamená, že okolo mnoha hvězd obíhá více než jedna planeta.

Konkrétně u 170 hvězd se podařilo najít dva a více kandidátů. Přesněji pak:

U 115 hvězd byli nalezeni dva kandidáti.

U 45 hvězd byli nalezeni tři kandidáti.

U 8 hvězd byli nalezeni čtyři kandidáti

U 1 hvězdy bylo nalezeno pět kandidátů

U 1 hvězdy bylo nalezeno hned šest kandidátů, které už ale byly převedeny do podoby oficiálních objevů, jedná se o systém u hvězdy Kepler-11

Uvedené údaje samozřejmě neznamenají, že okolo daných hvězd nemůže obíhat ještě více exoplanet. Je docela možné, že v nejbližší době odhalí Kepler další planetární průvodce těchto hvězd. V úvahu musíme brát rovněž fakt, že mnoho exoplanet nemusí tranzitovat a Kepler nemá šanci je najít.

Kromě toho bylo 54 kandidátů nalezeno v obyvatelné oblasti. Pět z nich má kamenný povrch (poloměr od 0,85 do 2 Zemí), zbývající jsou obří plynné světy jako Neptun nebo Jupiter.

V odborném článku zveřejnil tým rovněž údaje o 511 falešných kandidátech. V těchto případech se s největší pravděpodobností o exoplanety nejedná, pro odbornou veřejnost však mohou být i tyto údaje velmi cenné.

### Údaje o kandidátech

Nemá příliš smysl zde kopírovat tabulky s údaji o všech kandidátech. Podrobné seznamy naleznete v odborném článku: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1102/1102.0541.pdf>

My vám však poskytneme návod, kde a co vlastně na 106 stranách textu hledat. Vybíráme jen nejzajímavější a nejpodstatnější údaje.

Hostitelské hvězdy – Tabulka 1 (strany 37 až 58)

V této tabulce najdete podrobné údaje o mateřských hvězdách, u kterých byly exoplanetární kandidáti nalezeni. Jedná se o poklad zejména pro pozorovatele, kteří se na základě těchto dat budou nyní snažit jednotlivé kandidáty potvrdit.

Význam jednotlivých údajů (vybíráme ty nejdůležitější):

KOI – objekt Keplerova zájmu (katalogové označení hvězdy)

KIC – katalogové označení hvězdy

Kp – jasnost hvězdy v mag

RA, DEC – rektascenze a deklinace (souřadnice hvězdy na obloze)



---

Teff – povrchová teplota hvězdy v Kelvinech  
R – poloměr hvězdy v násobcích Slunce  
M – hmotnost hvězdy v násobcích Slunce

### **Přehled exoplanetárních kandidátů – Tabulka 2 (strany 59 až 90)**

Zde se dozvíte vše o nalezených kandidátech. Význam jednotlivých údajů:

KOI – objekt Keplerova zájmu. Pokud za tečkou následuje číslice 01, znamená to, že se jedná o prvního nalezeného kandidáta u dané hvězdy, 02 značí druhého kandidáta atd.

Dur – délka tranzitu v hodinách (jak dlouho trvá přechod planety před diskem hvězdy)

Period – oběžná doba kandidáta v dnech

Teq – odhadovaná povrchová teplota v Kelvinech (údaj v tabulce – 273,15 = údaj ve °C)

a – velká poloosa dráhy

Rp – poloměr exoplanetárního kandidáta v násobcích poloměru Země

V – tady se dozvíte, jak jsou na tom astronomové (k 1. únoru 2011) s ověřováním kandidáta. 1 = potvrzený a zveřejněný objev, 2 – velmi vysoká pravděpodobnost existence, 3 – střední pravděpodobnost existence kandidáta, 4 – velmi málo informací, nutno získat další údaje.

### **Exoplanetární kandidáti v obyvatelné oblasti – Tabulka 6 (strany 22 a 23)**

Zde najdeme seznam kandidátů, kteří obíhají okolo svých hvězd v obyvatelné oblasti. V případě kamenných exoplanet je šance na existenci vody v kapalném skupenství, v případě obřích planet je alespoň naděje, že hostí nějaký větší měsíc s podmínkami k životu.

V tabulce jsou podobné údaje jako v předešlém případě. Kromě velikosti planety (Rp) v násobcích Země by vás měla zajímat odhadovaná povrchová teplota (Teq) v Kelvinech – (údaj v tabulce – 273,15 = údaj ve °C). Rh je pak velikost mateřské hvězdy (v násobcích poloměru Slunce).

Poznámka: povrchová teplota exoplanetárního kandidáta je odhadnuta pouze na základě parametrů mateřské hvězdy a vzdálenosti od ní. Nemáme žádné informace o složení atmosféry, oblačnosti apod. Kromě toho je nutné připomenout, že se jedná pouze o kandidáty (nepotvrzené exoplanety).

---

## Téma: Obyvatelní kandidáti od Keplera a

V tomto článku se zaměříme výhradně na ty kandidáty, kteří byli objevení v tzv. obyvatelné oblasti nebo jejím okolí.

Obyvatelná oblast nebo chcete-li zóna života je termín, se kterým se v článkách o exoplanetách setkáte poměrně často. Zvláště druhý ekvivalent tohoto termínu je dosti nešťastný, obyvatelná oblast nám totiž o životě na té či oné planetě nic nepoví. Jedná se pouze o oblast okolo hvězdy, ve které může mít případná planeta zemského typu podmínky k udržení vody v kapalném skupenství.

Parametry obyvatelné oblasti vychází jen a pouze z údajů, které známe o mateřské hvězdě, nic nám však neříkají o skutečných podmínkách na povrchu daného světa a v obecném slova smyslu dokonce ignorují vlastnosti i samotnou existenci atmosféry planety.

Kepler objevil v obyvatelné oblasti nebo jejím okolí 54 kandidátů. Vzhledem k výkonu pozemských spektrografů budou tito kandidáti čekat na své potvrzení jistě velmi dlouho, takže celá naše diskuse se odehrává pouze v teoretické rovině. Na druhou stranu je seznam těchto kandidátů pouhým nedoslazeným předkrmem. Aby Kepler objevil exoplanetu v obyvatelné oblasti u hvězdy typu Slunce (s oběžnou dobou plus minus rok), musí data poctivě sbírat po dobu 3 let a nikoliv pouhých 4 měsíců.

Mezi 54 kandidátů bude navíc hodně plynných obrů, jako je Neptun či dokonce Jupiter. Pokud by okolo těchto obrů obíhaly hmotnější měsíce, mohly by to být právě ony, kdo budou mít na svém povrchu podmínky k životu, avšak to se už pouštíme do obyčejných spekulací.

Pro naši debatu jsme dnes vybrali nejnadějnější kandidáty, kteří obíhají v obyvatelné oblasti či jejím okolí a mají poloměr maximálně 2 Země.

### Není teplota jako teplota

Ve výše zmíněném odborném článku od týmu Keplera naleznete seznam všech 54 kandidátů v obyvatelné oblasti (strany 22 a 23) a u nich rovnovážnou teplotu na povrchu exoplanety (Equilibrium temperature, Teq). Pokud jste si tabulku prohlíželi, pak jste patrně hledali planetu, na jejímž povrchu budou panovat příjemné teploty. Nevím, zda preferujete spíše horko nebo máte rádi chladnější klima, ale na teplotě okolo 10 až 30°C se asi shodneme. V tabulce jsou hodnoty uváděny v Kelvinech (K), jak už to ostatně v odborné astronomické literatuře bývá. Převod je jednoduchý. Teplotu ve °C dostaneme, pokud od hodnoty v tabulce odečteme 273 (zaokrouhleně). Budeme tedy asi hledat planetu s povrchovou teplotou okolo 283 až 303 Kelvinů. Pokud jste tento postup dříve absolvovali, pak si připravte nejméně dva balíčky kapesníků. Asi vás

---

zklameme, postupovali jste špatně.

Rovnovážná teplota je jako údaj vlastně celkem k ničemu a to z několika důvodů:

K určení teploty potřebujeme znát přesné parametry mateřské hvězdy (zářivý výkon, poloměr, povrchová teplota) a velkou poloosu dráhy planety. Tyto údaje samozřejmě známe pouze s určitou přesností.

Dalším klíčovým parametrem je albedo planety. Jedná se o hodnotu, která udává, kolik záření planeta odráží zpět do kosmického prostoru. Pokud by byla hodnota rovná nule, neodráží nic, při hodnotě 1, odráží veškeré záření. Například Země má albedo přibližně 0,37. Jaké albedo mají zmínění kandidáti, však nevíme, můžeme ho pouze hrubě odhadnout.

Díky těmto nedostatkům lze rovnovážnou teplotu odhadnout s přesností asi 22%, což nám samozřejmě následně diskuse poněkud komplikuje. Co je však důležitější, rovnovážná teplota nebere v úvahu vliv atmosféry. Ten přitom rozhodně nemůžeme zanedbat. V případě Země přidává atmosféra k rovnovážné teplotě navíc 33 K, u Venuše je to ale díky skleníkovému jevu plných 500 K.

Pokud bychom tedy chtěli nalézt v datech exoplanetu, na jejímž povrchu se může nacházet voda v kapalném skupenství, musíme nasadit poněkud podivný přístup a hledat planetu s rovnovážnou teplotou pod bodem mrazu (méně než 273 K).

Mnohem jistějším postupem je proto pracovat s energií. V případě Země se zavádí tzv. sluneční (solární) konstanta, což je tok sluneční energie procházející plochou 1 m<sup>2</sup>, kolmou na směr paprsků, za 1 s ve střední vzdálenosti Země od Slunce měřený mimo zemskou atmosféru. Hodnota sluneční konstanty je 1366 W/m<sup>2</sup>. Podobný parametr si můžeme zavést i pro cizí hvězdy. Pro náš případ si ho označíme písmenem S. Hodnota S bude pro jiné hvězdy samozřejmě odlišná, ale my si ji dokážeme snadno vypočítat.

K výpočtu potřebujeme prioritně znát zářivý výkon hvězdy, který lze určit ze vzorce:

$$\frac{L}{L_s} = \left(\frac{R}{R_s}\right)^2 \left(\frac{T}{T_s}\right)^4$$

L<sub>s</sub> – zářivost Slunce

T<sub>s</sub> – povrchová teplota Slunce = 5780 K

R<sub>s</sub> – poloměr Slunce – v daném vztahu = 1

R – poloměr hvězdy

T – povrchová teplota hvězdy

---

Vzhledem k tomu, že  $R$  je uveden v násobcích poloměru Slunce, je  $R_s$  rovno 1. Vzorec se proto zjednoduší. Povrchová teplota Slunce je  $T_s = 5780$  K. Vzorec tedy můžeme upravit na:

$$\frac{L}{L_s} = (R)^2 \left( \frac{T}{5780} \right)^4$$

Všechny údaje můžeme zjistit z tabulky v článku od týmu Keplera.

Poměr  $L/L_s$  nám vyjde v násobcích zářivosti Slunce. Parametr  $S$  pak vypočteme jednoduše podle vzorce:

$$S = \frac{L}{L_s} \frac{1}{a^2}$$

, kde  $a$  je velká poloosa dráhy planety. Tento údaj opět nalezneme v odborném článku.

Pokud chceme, aby na planetě byly podmínky k udržení vody v kapalném skupenství, měl by být parametr  $S$  přibližně roven 1. Tím budeme mít zaručeno, že planeta dostává stejné množství energie od své hvězdy, jako dostává naše Země od Slunce.

Už jsme ale uvedli, že klíčovým faktorem, který dnes bohužel u žádného z kandidátů ani omylem neznáme, je atmosféra. David R. Underwood, Barrie W. Jones, P. Nick Sleep ve své práci (<http://arxiv.org/abs/astro-ph/0312522>) z roku 2003 definovali několik „stupňů obyvatelnosti“ planet. Tyto stupně reflektují vnější a vnitřní okraje obyvatelné oblasti ale také možné složení atmosféry. My je trochu upravujeme a definujeme takto:

- 1 – skleníkový efekt – atmosféra planety je ovlivněna skleníkovým efektem. Povrch je silně zahříván a do atmosféry se dostává velké množství vody v podobě páry, která taktéž působí jako skleníkový plyn. Vliv atmosféry na reálnou povrchovou teplotu je vysoký.
- 2 – ztráta vody – voda se postupně odpařuje a dostává se do stratosféry, kde je působením ultrafialového záření postupně rozkládána na vodík a kyslík. Prvně jmenovaný postupně uniká do kosmického prostoru, planeta o vodu přichází.
- 3 – planeta s podmínkami jako má naše Země. Termostat atmosféry ohřívá povrch teploty na přijatelnou úroveň.
- 4 – kondenzace oxidu uhličitého. U těchto exoplanet dochází v menší míře ke kondenzaci oxidu uhličitého, což v důsledku vede ke vzniku oblačnosti, jenž přispívá (tentokrát v dobrém slova smyslu) k ohřívání planety díky

---

skleníkovému jevu.

5 – exoplanety typu dřívějšího Marsu. Kondenzace oxidu uhličitého je zde maximální, jedná se o vnější (teoretickou) hranici obyvatelné oblasti.

Jednotlivé stupně můžeme definovat v závislosti na spektrální třídě mateřské hvězdy

Stupeň	Spektrální třída M0	Spektrální třída G2 (Slunce)	Spektrální třída F0
1	1,05 (0,24 AU)	1,41 (0,84)	1,90 (1,85 AU)
2	1,00 (0,25 AU)	1,10 (0,95 AU)	1,25 (2,28 AU)
3	0,81 (0,27 AU)	1,00 (1,00 AU)	1,10 (2,40 AU)
4	0,46 (0,36 AU)	0,53 (1,37 AU)	0,61 (3,26 AU)
5	0,27 (0,47 AU)	0,36 (1,67 AU)	0,46 (3,76 AU)

**Tabulka 1** Definice stupňů

#### **Poznámky:**

V závorce je uvedena přibližná vzdálenost oběžné dráhy planety.

Pro hvězdy spektrální třídy M0 platí zářivý výkon 0,06 Ls, povrchová teplota 3700 K.

Pro hvězdy spektrální třídy G2 platí zářivý výkon 1,0 Ls, povrchová teplota 5700 K.

Pro hvězdy spektrální třídy F0 platí zářivý výkon 6,45 Ls, povrchová teplota 7200 K.

U stupně 3 a hvězd M0 a F0 jde o odhad.

Pokud bychom si chtěli diskusi zjednodušit, můžeme část se stupni vypustit a definovat si pro spektrální typy hvězd přibližnou polohu vnitřní a vnější hranice obyvatelné oblasti v závislosti na parametru S:

G2: 0,82 až 1,20 AU

M0: 0,20 až 0,30 AU

F0: 2,00 až 3,00 AU

Nyní nám už nezbývá nic jiného, než se podívat na zoubek obyvatelným kandidátům od Keplera. Připomínáme, že vybíráme jen ty o maximální poloměru 2 Zemí:

Označení kandidáta (KOI)	Poloměr (Rz)	Velká poloosa (AU)	Střed HZ (AU)	Oběžná doba (dny)	Rovnovážná teplota (K)
1026.01	1,77	0,33	0,29	94,1	242
854.01	1,91	0,22	0,204	56,05	248
701.03	1,73	0,45	0,481	122,39	262
268.01	1,75	0,41	0,546	110,37	295
326.01	0,85	0,05	0,083	8,97	332
70.03	1,96	0,35	0,597	77,61	333

Označení kandidáta (KOI)	Poloměr hvězdy (Rs)	Povrchová teplota hvězdy (K)	Zářivost (Ls)	S	SO
1026.01	0,68	3802	0,086	0,8	4
854.01	0,49	3743	0,042	0,9	4
701.03	0,68	4869	0,232	1,1	2-3
268.01	0,79	4808	0,298	1,8	1
326.01	0,27	3240	0,007	2,9	1
70.03	0,7	5342	0,357	2,9	1

**Tabulka 2** Výsledky analýzy

### Poznámky:

- SO - stupeň obyvatelnosti
- KOI - Objekt Keplerova zájmu
- Rz - poloměr Země
- AU - astronomická jednotka, střední vzdálenost Země od Slunce
- Rs - poloměr Slunce
- Ls - zářivost v násobcích zářivosti Slunce
- S - uvádíme v násobcích sluneční konstanty
- střed HZ - přibližný střed obyvatelné oblasti

Pro dané parametry hvězdy leží uvnitř obyvatelné oblasti kandidáti KOI 854.01 a KOI 701.03. Ostatní se nacházejí poblíž obyvatelné oblasti. Vzhledem k tomu, že parametry známe s určitou přesností, mohou i zbývající kandidáti ležet uvnitř obyvatelné zóny. V úvahu také nebereme neznámé veličiny jako tlak atmosféry a oblačnost v atmosféře.

### Problémy s KOI 326.01?

Jedním z kandidátů, kterého jsme podrobili analýze, má označení KOI 326.01. V původní studii z února letošního roku byl kandidát KOI 326.01 ověřen nálepkou možné nejmenší známé exoplanety u hvězdy hlavní posloupnosti. Poloměr kandidáta se totiž odhadoval na pouhých 0,85 Země! Článek z února

---

popisoval, že KOI 326.01 obíhá okolo trpasličí hvězdy o hmotnosti asi třetiny Slunce s periodou 8,97 dní. KOI 326.01 od nás dostal nálepku kandidáta, který by se měl podobat spíše Venuši. Povrchová teplota sice byla odhadnuta na přibližně 56°C, tento údaj ovšem nezahrnuje vliv atmosféry, jenž bude patrně značný.

KOI 326.01 byl nejen nejmenším kandidátem v obyvatelné oblasti (či spíše v její blízkosti) ale nejmenším kandidátem od Keplera vůbec. Bohužel jeho příběh měl více než jepičí život. Do historie kosmického lovce se KOI 326.01 запиše jako odstrašující příklad. Budiž to varováním pro popularizátory, že o exoplanetárních kandidátech je nutné vždy hovořit a psát jako o nepotvrzených exoplanetách!

KOI 326.01 nám sice nespádl do nepopulárních vod falešných poplachů, tak krutý osud nebyl, ale za měsíc nám patrně povyroste, oteplil se a dost možná změnil matku.

Astronomové analyzovali snímek, který zachycuje bezprostřední okolí mateřské hvězdy KOI 326, jenž je v katalogu Keplera evidována pod označením KIC 9880467. Problém je fakt, že poblíž mateřské hvězdy najdeme další hvězdu (KIC 9880470). V katalogu je uvedeno, že mateřská hvězda je jasnější, ve srovnání se svým sousedem. Jednalo se však o chybu. Jasnější hvězdou je naopak soused hvězdy KOI 326.

Kepler jak známo hledá exoplanety tak, že sleduje jasnost vybraných hvězd. V případě, že z našeho pohledu přechází planeta před hvězdou, projeví se to periodickými poklesy v její jasnosti. Tým Keplera v tomto případě zkoumal světlo, které na čip dopadlo z obou hvězd a omylem se domníval, že mateřská hvězda je tou jasnější. Vzhledem k tomu, že výpočty byly založeny na chybných předpokladech, znamená to v reálu, že kandidát KOI 326.01 bude patrně větší a teplejší, než se očekávalo. Kromě toho se v tuto chvíli neví, okolo které ze dvou hvězd kandidát vlastně obíhá.

Tato chyba může někomu připadat jako školácká, ale musíme si připomenout několik faktů. KOI 326.01 je stále v pozici kandidáta, takže jeho existence potvrzena nebyla, přičemž se jedná o „slabšího“ kandidáta s nejistou přibližně 20%. Jinými slovy: existuje asi 20% šance, že KOI 326.01 neexistuje a jedná se o falešný poplach. Druhým argumentem budiž to, že informace o kandidátech jsou zveřejňovány pro odbornou veřejnost, aby ostatní astronomové mohli pomoci s jejich ověřováním.

Kromě toho je nutné si uvědomit, že hlavním posláním Keplera je statistika. Kosmický dalekohled nemá ani tak objevovat konkrétní obyvatelné exoplanety, jako spíše přinést informace statistického charakteru. Pokud například objeví 100 kandidátů o velikosti Země v obyvatelných oblastech s pravděpodobností falešného poplachu 10%, znamená to v reálu, že kandidátů bude asi 90.

---

S konečnými daty pak mohou astronomové pracovat (musíme vzít v úvahu, že Kepler objeví jen ty exoplanety, které z našeho pohledu přechází před svou hvězdou) a odhadnout počet exoplanet s určitými vlastnostmi (velikost, dráha v obyvatelné oblasti, typ mateřské hvězdy apod.) v celé Galaxii.

KOI 326.01 si už každopádně můžeme ze seznamu možných obyvatelných kandidátů vyškrtnout.

### **Zdroje:**

<http://arxiv.org/abs/astro-ph/0312522>

<http://arxiv.org/abs/1102.0541>

<http://www.vzdalenesvety.cz/index.php/svety-jinych-slunci/11-habzones>

<http://blogs.discovermagazine.com/80beats/2011/03/08/exclusive-most-earth-like-exoplanet-gets-major-demotion%E2%80%94it-isnt-habitable/>

## **Ze světa exoplanet**

### **Planet Hunters: Hledat exoplanety v datech z Keplera může každý!**

Každý měsíc se prostřednictvím sítě radioteleskopů DSN stahuje obrovské množství dat z kosmického dalekohledu Kepler. Úkolem lovce exoplanet je hledání nových světů tranzitní metodou. Téměř nepřetržitě sleduje Kepler na 150 tisíc vybraných hvězd v souhvězdích Labutě, Lyry a Draka. S analýzou dat můžete snadno a rychle pomoci i vy! Chcete najít novou planetu u cizí hvězdy?

Nástup internetu znamenal pro vědeckou komunitu ohromnou příležitost. Postupem času se rozjely distribuované výpočty. Část výkonu svého počítače můžete díky jednoduchému programu věnovat na bohuľibou činnost – analýzu a zpracování velkého množství dat z různých vědních oborů (biologie, astronomie,...). Nejznámějším projektem je nepochybně SETI@home, který se zaměřuje na hledání signálu mimozemských civilizací. Výhodou distribuovaných výpočtů je fakt, že po instalaci klienta se o nic dalšího nemusíte starat. Nevýhodou



---

je paradoxně totéž. Žádnou velkou zábavu si neužijete (snad až na pohled na animaci výpočtů) a šance že něco objevíte je minimální.

Někteří astronomové amatéři šli proto dál. Začali například analyzovat snímky z družice SOHO a úspěšně na nich objevují komety, které prolétají blízko Slunce.

V poslední době se ale začali amatéři úspěšně „montovat“ i do výzkumu exoplanet – viz článek Astronom amatér objevil čtyři exoplanety.

Podílet se na hledání exoplanet můžete nyní i vy a to velmi snadno. Není třeba nic stahovat a vše trvá krátkou dobu.

### **Projekt Planet Hunters se představuje**

Projekt Planet Hunters běží pod záštitou většího projektu Zooniverse, díky kterému můžete například pomoci s výzkumem galaxií analýzou dat z Hubbleova dalekohledu apod.

### **Jak to funguje a k čemu je to dobré?**

Pravidelným čtenářům asi nemusíme kosmický dalekohled Kepler blíže představovat. Do vesmíru se vydal v březnu 2009 a z heliocentrické oběžné dráhy sleduje nepřetržitě vybranou oblast, která se nachází z větší části v souhvězdí Labutě, Lyry a částečně v Drakovi. Cílem projektu je sledovat jasnost asi 150 000 vybraných hvězd. Pokud budeme mít štěstí a exoplaneta z našeho pohledu přechází před svou hvězdou, bude způsobovat periodické poklesy jasnosti hvězdy. Ty se projeví na světelné křivce – grafu závislosti jasnosti na čase.

Vaším úkolem bude právě analýza světelných křivek, které se skládají z mnoha bodů (měření). Zatím jsou v projektu zahrnuta data z prvních 33 dní mise. Postupně však budou přibývat další.

NASA samozřejmě má algoritmy, které v záplavě dat hledají stopy přechodů planet před diskem hvězdy (tranzity). Tyto algoritmy (bez urážky) jsou rychlejší a mají více času než vy. Na druhou stranu máte ale něco, co počítač ani s nejlepším algoritmem nemá – mozek. Je docela možné, že počítačům některé tranzity unikly. Algoritmus totiž hledá to, co mu lidé z NASA zadají. Tento postup má pochopitelně své mouchy a nedostatky.

Jestli se vám podaří objevit exoplanetu, to vám neřekneme. Na začátku února bylo zatím objeveno několik desítek kandidátů na exoplanetu, takže šance určitě existuje! Kromě toho si můžete osahat data a postupy, které nyní píší historii astronomie i celého lidstva.

### **Technické požadavky:**

Jsou minimální, stačí vám připojení k internetu. Přesto je tu však jedno „ale“. Projekt nedokáže pracovat s prohlížečem Internet Explorer 7 a 8. Pokud jej máte,

---

musíte si nainstalovat novější verzi 9 nebo některý z jiných prohlížečů. Tento nedostatek je pouze dočasný a měl by být brzy odstraněn.

### **Začínáme – lekce 1 (tutoriál)**

Než se pustíme do analýzy, musíme si vše nanečisto osahat. Otevřete si stránku projektu na <http://www.planethunters.org>. Hned na titulní stránce můžete kliknout na Start hunting for planets. Případně lze zvolit na horním menu položku Tutorial => Introduction.

Spustí se vám úvodní rychlokurs. Všimněte si bílé bubliny v pravé části obrazovky. Této bubliny si važete, bude vaším průvodcem při analýze dat! Pod bublinou najdete základní informace o hvězdě, na jejíž zoubek se nyní díváme. Uvedena je zejména jasnost (v mag), povrchová teplota (v Kelvinech) a poloměr hvězdy v násobcích poloměru Slunce.

V prvním kroku klikneme na Next, zobrazí se graf a na něm zakreslená oblast, která odpovídá tranzitu exoplanety. Podíváme se a klikneme znovu na Next. Nyní je na nás, abychom našli ve světelné křivce případy, které odpovídají tranzitu exoplanety.

Ale ještě než to uděláme, mrkneme se na samotný graf. Na vodorovné ose máme dny od začátku pozorování dalekohledu, na svislé ose pak jasnost hvězdy. Výběr dat si můžeme omezit pouze na určitý časový interval – vlastně musíme, neboť tím docílíme většího rozlišení, což bude později nutné. Tranzit velké planety sice teoreticky odhalíme přímo v komplexních datech za celé období, pokles jasnosti, vyvolaný malou planetou, však lze najít jen v podrobných datech. I když je pravda, že objev malé exoplanety se od laiků asi ani moc neočekává. Dosud objevení kandidáti mají velmi hluboký a dobře patrný pokles jasnosti. Pro informaci uvedme, že tranzit exoplanety trvá řádově hodiny.

Omezení dat (resp. výběr kratšího časového intervalu) provedeme jednoduše. Stačí kliknout na některé ze dvou bílých koleček (levým tlačítkem) pod grafem a táhnout myší do středu grafu (viz obrázek 2 – červené elipsy). V našem případě jsme si vybrali data z pěti dnů (10 až 15 den). Pokud budeme chtít jiný časový okamžik, stačí kliknout doprostřed intervalu (obr. 2 – zelená elipsa) a táhnout myší doprava nebo doleva. Tím se posouváme v datech, zafixovaný interval pěti dnů zůstává. Můžeme samozřejmě nastavit i jiný interval.

Rozlišení lze změnit i ve svislé ose jasnosti (stačí kliknout na šipky – viz obr. 2 – žlutá elipsa).



**Obr. 2** Základní práce s grafem

Nyní začneme hledat tranzity exoplanet. V tutoriálu jsou tranzity dobře patrné, můžeme tak vybrat data za celé období. V bílé bublině klikněte na „+“. Objeví se modrý rámeček. Ten byste měli umístit tak, aby uvnitř něj byl celý tranzit. Velikost rámečku lze měnit (v pravém dolním růžku rámečku).

Na grafu může být (a v tutoriálu je) více tranzitů. Pokud tedy chceme další rámeček, klikneme opět na „+“ a tak pořád dokola.

Po dokončení klikneme v bublině na finish. Program nám ukáže (červené body), kde všude jsou tranzity. Můžeme si tak ověřit, zda jsme měli pravdu.

Tím tutoriál končí. V dalším kroku vás bublina vyzývá k otestování výběru menších časových úseků, což už ale máme za sebou.

## Lekce 2 – registrace

Nyní se musíme registrovat. Stačí kliknout na <https://www.zooniverse.org/signup>. Zadat musíme přihlašovací jméno (Login), své jméno (Name), které ale není povinné, email a dvakrát heslo (P)

Zde je dobré upozornit, že registrace se nám nějakou dobu nedařila (možná přetížený server). Při kliknutí na Register se nic nestalo. Pokud se vám přihodí totéž, je nutné nějakou dobu počkat.

Pokud bude vše ok, objeví se nabídka nastavení našeho účtu. Doporučujeme se podívat na položku Newsletters. Zde můžete nastavit zaslání novinek o jednotlivých projektech. Pokud je nechcete dostávat, odkřížkujte jednotlivé bulletin a dejte Update.

---

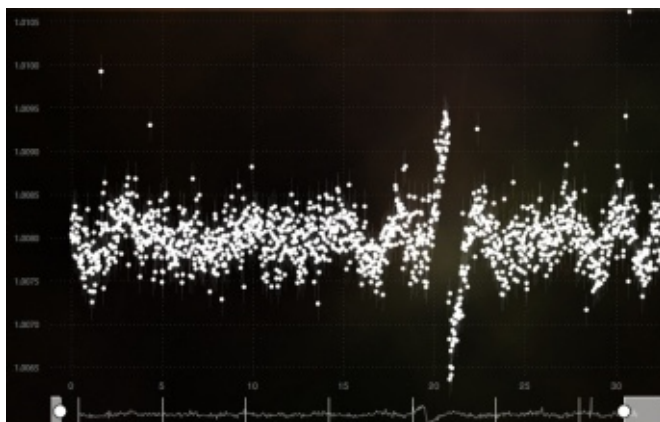
### Lekce 3 – analýza začíná

Vrátíme se na stránku <http://www.planethunters.org>. Na horní liště máme volbu „login“. Přihlásíme se (pokud už přihlášení nejsme).

V položce Talk na horní liště najdete diskusi k jednotlivým hvězdám, v položce About nápovědu. Podívejte se na položku Candidates. Zde najdete kandidáty na exoplanety, které byly díky projektu Planet hunters nalezeny. Pokud budete mezi objeviteli kandidáta, vaše jméno zde bude uvedeno.

Nás ale nyní nejvíce zajímá položka Classify. Klikněte na položku, uvařte si kávu nebo čaj a jdeme na to!

1. Vzpomínáte na bublinu? Ta nás teď provede analýzou. V prvním kroku tu máme dotaz, zda v datech nejsou nějaké velké mezery v podobě chybějících dat (Are there any big breaks or gaps in the light curve?). Může se totiž stát, že část dat chybí (vada CCD čidla apod.). Pokud jsou data kompletní, klikneme na „No“, pokud v nich vidíme zřetelné mezery, dáme Yes. Že nevíte, jak vypadají nekompletní data? Klikněte na „help“ v bublině, objeví se vám příklady.



**Obr.3** Příklad nekompletních dat.

### Moje hvězdy

Mimochodem, pod bublinou máme položku „Mark as favorite“. Kliknutím na ní uložíme hvězdu mezi „oblíbené“. Později se tak můžete k hvězdě vrátit a prokonzultovat to na fóru apod. K oblíbeným hvězdám se dostanete přes horní lištu (klikněte na své přihlašovací jméno a pak na My Stars) – zde jsou konec

konců všechny hvězdy, které jsme kdy analyzovali. Doporučujeme se sem po analýze prvních hvězd podívat. Najdete tu další informace o analyzovaných hvězdách (spektrální třídu) a po kliknutí na View star i mapu s vyznačením pozice hvězdy v zorném poli Keplera (zorné pole najdete podrobně na tomto obrázku nebo podrobněji zde).

2. Ve druhém kroku po nás chce program zodpovědět otázku, zda je hvězda proměnná (obvykle otázka: Is the star) Některé hvězdy totiž mění jasnost i z jiných důvodů, než je přítomnost exoplanety. Jak může vypadat křivka proměnné hvězdy, se dozvíme opět v nápovědě (help). Pokud je hvězda proměnná, klikneme na zelené tlačítko s vlnkou. Nevidíme-li žádnou proměnnost, dáme modré tlačítko. Žádný učený z nebe nespádl, takže pokud si nejsme jistí, dáme oranžové tlačítko „?“ . Zvolíme-li, že hvězda je proměnná, v dalším kroku musíme zvolit přibližný typ proměnné. K tomu nám opět dopomůže nápověda, kde jsou ukázky. Přibližný vzhled proměnnosti symbolizuje už samotná ikonka v bublině, na kterou musíme kliknout.

Někde je ale celý tento druhý krok vynechán a přecházíme hned ke kroku 3.



**Obr. 4** Příklad světelné křivky proměnné hvězdy

3. Does the star have any transit features? Nyní hledáme tranzity a v případě, že je najdeme, označíme je modrými obdélníčky, jak jsme se naučili v první lekci. Doporučujeme procházet data po krátkých časových úsecích.

Ano, není to jednoduché, chce to praxi. Ale nebojte se! Doporučujeme hledání spíše výraznějších tranzitů. Nemá smysl asi prohledávat světelné křivky podrobně. Nevýrazné tranzity (malé exoplanety nebo spíše tranzity u aktivních hvězd, proměnných hvězd apod.) odhalí jen zkušené oko (jestli vůbec), běžný laik se může dopustit spíše omylu a označit falešný poplach. Podívejte se na

projektem objevené kandidáty – odkaz a na jejich křivky (view star).

Program si z vás také může občas udělat dobrý den a hodit vám k analýze neexistující tranzit. Není to kanadský žert, ale má to určitý význam ke statistickému zpracování výsledků.

4. Would you like to discuss this star? program se vás zeptá, zda chcete nebo nechcete hvězdu prodiskutovat v diskusi. Pokud ne, dáme „No“ a začneme s další analýzou.

### Co když se spletu?

Nic se neděje. Program dává jednu světelnou křivku k analýze většímu počtu lidí. Pokud pak třeba 70% lidí najde tranzit, je jasné, že této světelné křivce je nutné věnovat pozornost.

### Co za to?

Nic, snad jen dobrý pocit a možnost nahlédnout pod pokličku projektu kosmického dalekohledu Kepler. Pokud ale budete mít štěstí a budete první, kdo planetu objeví, máte reálnou šanci být spoluautorem objevitelské studie!

V posledním kroku se nás průvodce zeptá, zda chceme hvězdu prodiskutovat. Klikneme-li na „Yes“, můžeme napsat svůj komentář (anglicky). Pokud dáme „No“, přejdeme k analýze další hvězdy.



**Obr.5** Světelná křivka proměnné hvězdy s dvěma výraznými tranzity (modré obdélníky)



**Obr.6** Světelná křivka neproměnné hvězdy s hlubokým tranzitem (modrý obdélník). Tranzity menších exoplanet takto výrazné samozřejmě nejsou.

### Další doporučené postupy výuky:

Na internetu je také tutoriál ve formě videa. I pokud neumíte anglicky, rozhodně si ho přehrajte! Některé věci vám pak budou jistě jasnější:

<http://vimeo.com/17864899>

### ESPRESSO: budoucnost výzkumu exoplanet s vůní kávy

Evropští astronomové pro nás připravují opravdu chutný šálek kávy v oblasti výzkumu exoplanet metodou měření radiálních rychlostí. Pod názvem ESPRESSO (Echelle SPectrograph for Rocky Exoplanet- and Stable Spectroscopic Observations) se připravuje nástupce současného spektrografu HARPS.

Se jménem spektrografu HARPS, nebo spíše s jeho objevy a potvrzováním exoplanet, se v Gliese setkáme relativně často. Instalován je na 3,6 m dalekohledu Evropské jižní observatoře.

Španělsko (Kanárský astrofyzikální institut), Itálie (observatoře v Miláně a v Terstu), Portugalsko (Univerzita v Porto) a Švýcarsko (Ženevská observatoř) se spojili pod záštitou ESO, aby připravili nástupce HARPSu.

Spektrograf ESPRESSO má být instalován na interferometru VLT v Chile.

---

Astronomové se přitom dostávají do druhé generace přístrojů VLT. Spektrograf tak bude plnit hlavní úkol, pro který byl VLT původně postaven. Čtyři dalekohledy o průměru 8,2 m mohou pracovat společně (s dalšími 4 menšími, pohyblivými dalekohledy), čímž se podaří vytvořit dalekohled o ekvivalentním průměru 16 metrů.

ESPRESSO bude schopen pracovat ve dvou režimech. Pod označením 1-UT bude v akci pouze jeden ze čtyř dalekohledů VLT. Astronomové tak budou schopní měřit radiální rychlosti hvězd s přesností menší než 10 cm/s. Pro srovnání: přesnost HARPSu i jeho amerického kolegy HIRES (Keckův dalekohled) je přibližně 1 m/s. ESPRESSO tak bude schopen detekovat až 80% exoplanet zemského typu v obyvatelných zónách okolo hvězd typu Slunce.

Astronomové však budou moci nahodit i režim 4-UT. V ten okamžik budou do akce povolány všechny 4 dalekohledy VLT, čímž vznikne dalekohled o průměru 16 m. Přesnost ESPRESSA sice bude „jen“ 1 m/s, za to však bude schopen měřit radiální rychlosti u velmi slabých objektů, které musí dnes astronomové vynechat, neboť současné přístroje na to jednoduše nestačí.

ESPRESSO bude také naším „průvodcem po cestě snů“. Spektrograf totiž poslouží jako mezistupeň ke stavbě přístroje CODEX (COsmical Dynamics Experiment), který bude součástí připravovaného dalekohledu E-ELT (Evropská extrémně velký dalekohled) o průměru 42 m. CODEX bude schopen měřit radiální rychlosti hvězd s přesností až 2 cm/s.

Podle stránek projektu má ESPRESSO začít pracovat v roce 2014. V srpnu 2010 však proběhla konference, na které se v harmonogramu projektu počítá s rokem 2018.

Realizace CODEXu pak závisí především na dostavbě samotného dalekohledu E-ELT, která je naplánována na konec tohoto desetiletí (~ 2018).

### **Zdroje:**

<http://exoplanets.astro.psu.edu/workshop/presentation/2-k-Megavand-ESPRESSO.pdf>

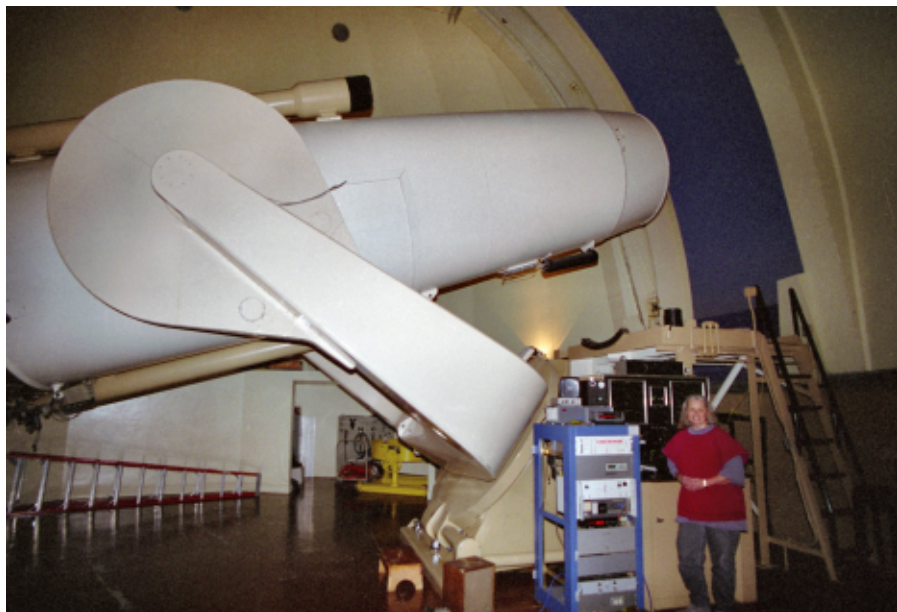
<http://espresso.astro.up.pt/index.php>

<http://lanl.arxiv.org/abs/0802.1926>



## Dalekohled smetl Pluto, teď jde na lov planet u cizích hvězd

Před nedávnem vyšel v odborném tisku článek, který detailněji popisuje jednoho z novějších lovců exoplanet. Pod zkratkou PTF (Palomar Transient Factory) se ukrývá projekt, jehož cílem je hledání exoplanet u červených trpaslíků metodou tranzitní fotometrie.



**Obr.6** Dalekohled Samuel Oschin, autor: Michael Vergara, zdroj Wikipedia

PTF byl spuštěn v polovině roku 2009. Kamera projektu je umístěna na 1,22 m dalekohledu Samuel Oschin (známý také jako P48), který se nachází na slavné Palomar Observatory nedaleko San Diega. Nejen observatoř ale i samotný dalekohled bychom mohli označit za legendu. Na Palomaru pracuje už od roku 1948 a mezi jeho největší úspěchy patří objev dvou transneptunických těles – Sedny a Eris. Především druhý jmenovaný objekt stál u vyřazení Pluta ze seznamu planet.

Samotná kamera projektu PTF má zorné pole 7,26 čtverečních stupňů, díky čemuž by měla být schopna pozorovat najednou v průměru 3 000 vybraných červených trpaslíků. Za jednu sezónu mají být získány světelné křivky z celkem 10 polí, tedy asi 30 000 hvězd. V příštích letech by mělo dojít ke změně vybraných

---

cílových oblastí, takže v souhrnu má PTF pročesat na 100 000 červených trpaslíků.

U hvězd, kde budou nalezeni kandidáti na exoplanetu, se tým pokusí získat další fotometrická pozorování pomocí větších dalekohledů nejen na Palomar Observatoriu. Klíčová budou i následná spektroskopická pozorování, za účelem ověření existence exoplanety a zjištění její hmotnosti.

### **Zdroj:**

<http://arxiv.org/abs/1101.0630>

## **Hledání trosek u Psí hvězdy bylo negativní**

Kdo by neznal nejjasnější hvězdu souhvězdí Velkého psa i pozemské oblohy vůbec (samozřejmě hned po Slunci). Už málo kdo ale ví, že Sirius nebo také Psí hvězda má ve skutečnosti společníka, kterým je bílý trpaslík. Astronomové u něj hledali trosky dávného planetárního systému.

Sirius se nachází ve vzdálenosti asi 8,6 světelných let a jedná se tak o vhodný cíl pro astronomický výzkum. Hlavní složka má hmotnost dvou Sluncí a poloměr 1,7x větší než naše mateřská hvězda. Ve vzdálenosti asi 19,8 AU od primární složky obíhá po dosti protáhlé eliptické dráze průvodce Sirius B s periodou 50 let. Jedná se o bílého trpaslíka, v objektu o velikosti Země je vměstnána hmota, odpovídající našemu Slunci. Výzkum těchto velmi hustých hvězd je důležitý, i když poněkud depresivní. Jako bílý trpaslík totiž jednoho dne skončí také naše Slunce.

Ještě předtím se Slunce stane za pár miliard let rudým obrem. Vnitřní planety Merkur, Venuše, Země a dost možná i Mars si nejdříve projdou kremací žehem a následně budou rozdrčeny slapovými silami rozpínajícího se Slunce. Po odhození plynné obálky zbude v centru planetárního systému bílý trpaslík. Vzhledem k tomu, že Slunce přijde o část své hmoty, dojde i k rozhození oběžných drah vnějších planet. Gravitační rošády mohou některou přeživší planetu katapultovat ven ze systému. Naproti tomu některé planetky mohou být vymrštěny směrem k bílému trpaslíkovi.



**Obr.7** Sirius A a Sirius B (schéma). Zdroj: Wikipedia

Okolo mnoha bílých trpaslíků byl zaznamenán přebytek infračerveného záření. Astronomové tento jev koncem 80. let minulého století vysvětlovali mimo jiné tím, že pozorovanými hvězdami by ve skutečnosti mohli být hnědí trpaslíci. Teprve v pozdějších letech byla stopa zavedena správným směrem. Kosmické dalekohledy nakonec potvrdily, že se v okolí těchto bílých trpaslíků nachází prachové disky. Jejich původcem jsou patrně větší planetky, které byly gravitačními rošádami vymrštěny směrem k bílému trpaslíkovi, který je slapovými silami rozdrtil na prach.

Podobný prachový disk se pokoušeli hledat astronomové také u hvězdy Sirius B. Studie z posledních let naznačovaly, že by také tento bílý trpaslík mohl vykazovat příznaky „prašnosti“ ve svém okolí. Andrew J. Skemer a Laird M. Close (Steward Observatory, University of Arizona) probrali data z přístroje T-ReCS, který je instalován na severním dalekohledu Gemini. Z výsledků vyplývá, že okolo Siria B se žádný výraznější disk prachu nenachází.

Existence Siria B byla předpovězena německým astronomem Friedrichem Bessellem roku 1844. Potvrzení objevu však přišlo až roku 1862, kdy průvodce Psí hvězdy pozoroval americký astronom Alvan Graham Clark pomoci svého půlmetrového dalekohledu na Dearborn Observatory.

---

Měření v moderní době odhadla povrchovou teplotu bílého trpaslíka na více než 25 000 K. Povrchová teplota bílých trpaslíků, u kterých byly odhaleny prachové disky, byla přitom vždy o dost nižší. Případný „rozdrcený“ materiál by se tak u Siria B nenacházel ve formě prachu, ale vysublimoval by do podoby „kovových par“. Výsledky studie však zavrhuji i tuto možnost.

**Zdroj:**

<http://arxiv.org/abs/1101.4314>

## **Exoplanety s boubelatými matkami**

Mnoho týmů se dnes zabývá statistickými pozorováními exoplanet. Konfrontuje se počet exoplanet různého typu (hmotnost, velikost, velká poloosa dráhy) s typem a vlastnostmi mateřských hvězd (spektrální třída, metalicita apod.). Japonsko – korejský tým astronomů patří mezi ty, které se zaměřují na velmi hmotné hvězdy.

Tým získává spektra asi 190 hvězd spektrálních tříd G a K pomocí 1,8 m dalekohledu na Bohyunsan Optical Astronomy Observatory (BOAO) v Koreji a 1,88 m dalekohledu na Okayama Astrophysical Observatory (OAO) v Japonsku.

Nedávno byly zveřejněny první dílčí závěry. Týmu se podařilo objevit metodou měření radiálních rychlostí pravděpodobného hnědého trpaslíka u hvězdy HD 119445. Mateřská hvězda má hmotnosti asi 3,9 Sluncí a z dat vyplývá, že okolo ní obíhá objekt, vyvolávající změnu amplitudy radiálních rychlostí asi 413 m/s s periodou 410 dní. Hmotnost objektu byla odhadnuta na  $37,6 \pm 2,6$  Jupiteru, což by ho řadilo do říše hnědých trpaslíků.

Japonsko-korejský tým je rovněž na stopě exoplanetě o hmotnosti 1,8 Jupiteru, která má obíhat okolo hvězdy o hmotnosti 2,4 Sluncí ve vzdálenosti 0,77 AU s periodou 157 dní. Objev zatím nebyl potvrzen, takže souřadnice a další informace o hvězdě nejsou veřejně dostupné.

Dosavadní snažení týmu rovněž odhaluje, že hnědí trpaslíci se vyskytují u hvězd o hmotnosti nad 2,7 Sluncí. Naopak u hvězd o hmotnosti 1,5 až 2,7 Sluncí je objeveno minimum hnědých trpaslíků a jedná se spíše o teritorium obřích

---

plynných planet. U hvězd o hmotnosti 2,5 až 4 Slunci se naopak exoplanety příliš hojně nevyskytují. Jinými slovy platí, že u obřích hvězd nacházíme i obřího společníky (substelární objekty – hnědé trpaslíky), zatímco u těch méně hmotných spíše jen exoplanety.

**Zdroj:**

<http://arxiv.org/abs/1101.4108>

### **WASP-33 b: rozbušila nejteplejší exoplaneta srdce své matky?**

Ve sdělovacích prostředcích se před časem objevily zprávy, že exoplaneta WASP-33 b dostala nálepku nejteplejší exoplanety. Kromě toho však byla zveřejněna i další zajímavá studie k této exoplanetě z pera katalánských astronomů.

Exoplaneta WASP-33 b byla objevena už v roce 2006 projektem SuperWASP, který loví planety u cizích hvězd metodou tranzitní fotometrie. Problém ovšem představovala mateřská hvězda spektrální třídy A5, která poměrně rychle rotuje kolem své osy, což poněkud zkomplikovalo spektrální měření. Tato nepříjemnost měla dva důsledky. Objev exoplanety byl zveřejněn teprve v roce 2010 a s určením hmotnosti to není zrovna dvakrát slavné. Oficiálně se má za to, že hmotnost WASP-33 b bude méně než 4,6 Mj. Ve skutečnosti to však může být opravdu o dost méně.

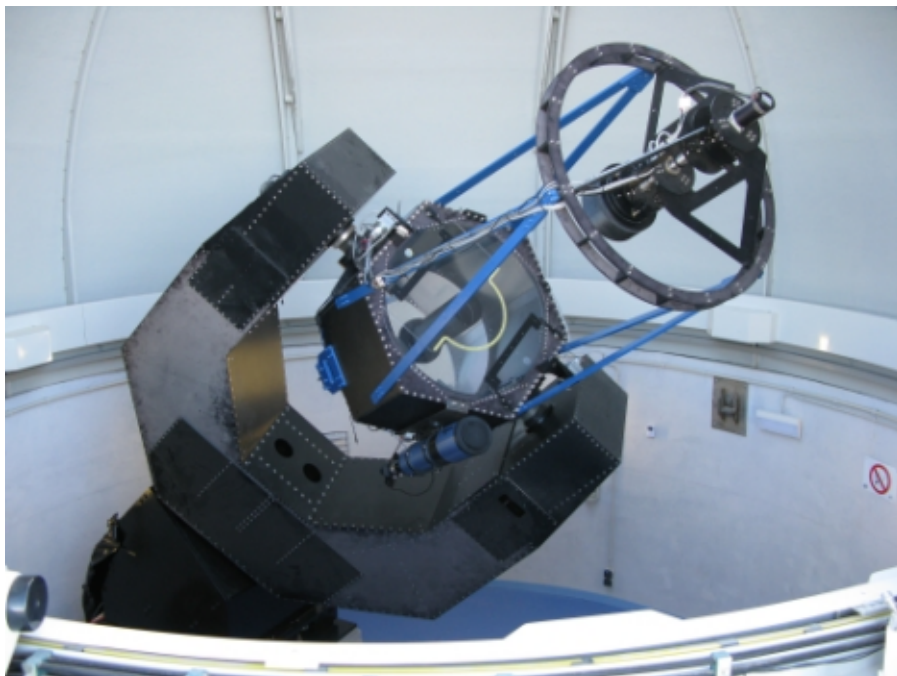
Poloměr planety byl stanoven na 1,4 Jupiteru. Okolo svého slunce obíhá WASP-33 b ve vzdálenosti jen 0,0256 AU (asi 15x blíže než Merkur) s periodou 1,22 dní. Mateřská hvězda WASP-33 (nebo také HD 15082), má hmotnost a velikost asi o 50% větší ve srovnání se Sluncem. Povrchová teplota je zhruba 7400 K, tedy asi o 1500 K více než je teplota naší mateřské hvězdy.

Exoplaneta zaujala astronomy už krátce po svém objevu, neboť okolo hvězdy obíhá retrográdně, což znamená v opačném směru, než v jakém rotuje její hvězda. Sklon oběžné dráhy planety vůči rovině rovníku hvězdy byl stanoven na přibližně 250°. Jak se takový úhel sklonu oběžné roviny stanovuje, popisujeme v tomto čísle v článku Skloněné oběžné roviny exoplanet.

Astronomové z Katalánska si však nyní vzali na zoubek mateřskou hvězdu a pozorovali její jasnost. Kromě astronomů z uznávaného Institutu vesmírných věd (Institut de Ciències de l'Espai), kterými byli Enriquer Herrero, Juan Carlos

---

Morales a Ignasi Ribas, se na objevu podílel i astronom amatér Ramón Naves (Observatori Montcabrer).



**Obr.8** Robotický 0,8 m dalekohled na Montsec Astronomical Observatory, Credit: IEEC

Mimočodem, R. Naves je velmi aktivním a všestranným astronomem amatérem. Například v roce 2007 byl jedním ze spoluobjevitelů zjasnění komety Holmes. Tehdy jsem s ním dělal rozhovor pro Instanční astronomické noviny – [http://www.ian.cz/detart\\_fr.php?id=2640](http://www.ian.cz/detart_fr.php?id=2640).

Astronomové z institutu získali přesná fotometrická měření hvězdy 21. a 28. září 2010 pomoci 0,8 m dalekohledu OAdM na observatoři Montsec. Klíčová však byla i pozorování amatérského astronoma Ramóna Navese, který pozoroval hvězdu svým 0,3 m dalekohledem a CCD kamerou SBIG ST8-XME 26. srpna, 7. a 14. září a 20. října.

Z dat vyplývá, že WASP-33 je krátkoperiodickou pulzující proměnnou hvězdou typu delta Scuti. V případě těchto hvězd dochází ke kontrakci a expanzi povrchových vrstev ve velmi krátkých intervalech (desítky minut až hodiny),

---

což se projevuje nepatrnou změnou jasnosti hvězdy. V případě WASP-33 mají oscilace periodu 68 minut a amplitudu asi 1 tisícinu magnitudy.

Astronomové se domnívají, že pulzace hvězdy může vyvolávat svou gravitací blízká exoplaneta. Výzkum hvězdy WASP-33 a jejího planetárního průvodce tak může být velmi užitečný pro lepší pochopení vzájemných interakcí mezi hvězdami a planetami.

Informace o pulzujících proměnných hvězdách naleznete například zde: <http://astro.sci.muni.cz/variables/pejcha/pulscz.htm>

### Nejteplejší exoplaneta?

A. M. S. Smith vedl druhý tým, který pozoroval mateřskou hvězdu pomocí přístroje Auxiliary Camera (ACAM) na Herschelově dalekohledu na Kanárských ostrovech. V noci z 29. na 30. října se během 7 hodin podařilo týmu získat na 203 snímků. Na jejich základě byla odhadnuta teplota exoplanety na 3325 až 3592 Kelvinů, což by z WASP-33 b dělalo „nejteplejší“ známou planetu. Za tak rozžhavený „povrch“ by se nemusely stydět ani některé menší hvězdy.

Také Smith a jeho kolegové odhalili pulzace mateřské hvězdy, i když tímto tématem se nezabývali příliš podrobně. Obě studie hvězdy WASP-33 nebyly na sobě zcela nezávislé. Pro druhou studii totiž byly použity i data z té první.

### Zdroje:

<http://arxiv.org/abs/1101.2432>

[http://www.aanda.org/index.php?option=com\\_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/aa/abs/2011/02/aa15875-10/aa15875-10.html](http://www.aanda.org/index.php?option=com_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/aa/abs/2011/02/aa15875-10/aa15875-10.html)

[http://www.ice.csic.es/view\\_new.php?NID=82](http://www.ice.csic.es/view_new.php?NID=82)

[http://www.oadm.cat/eng/infgeneral\\_oam.php?section=images&subsec=images](http://www.oadm.cat/eng/infgeneral_oam.php?section=images&subsec=images)

## O Keplerovi se už také zpívá, lovec exoplanet má svou hymnu

Kosmický dalekohled Kepler se do vesmíru vydal v březnu 2009, aby hledal exoplanety tranzitní metodou. Nedávno se mu podařilo nalézt nejmenší dosud známou exoplanetu u hvězdy hlavní posloupnosti. V lednu zveřejnila NASA na svém webu píseň, která je věnována tomuto lovcovi exoplanet.

Autorem textu je John Marmie, který před časem napsal i píseň „Voda na

---

Měsíci“. Marmie je totiž nejen nadšený amatérský hudebník, ale pracuje jako manažér projektu LCROSS. Kosmická sonda v říjnu 2009 prolétla oblakem vyvrženého měsíčního materiálu krátce poté, co urychlovací stupeň Centaur dopadl na povrch našeho kosmického souseda. Tuto píseň si můžete přehrát na videu (mov).

Nyní Marmie napsal a nazpíval i píseň k misi kosmického dalekohledu Kepler. Přehrát nebo stáhnout si ji můžete zde (mp3):

[http://www.nasa.gov/mp3/511462main\\_Kepler%5B7%5D.mp3](http://www.nasa.gov/mp3/511462main_Kepler%5B7%5D.mp3)

Text uvádíme níže nebo ho najdete na webu NASA:

[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/kepler/multimedia/videos/kepler\\_song.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/multimedia/videos/kepler_song.html)

### **Gliese 581 g podle nové studie na 99,9978% neexistuje**

V dnešní době se prý dá sázet téměř na cokoliv. Pokud by bylo možné sázet i na existenci či neexistenci exoplanety Gliese 581 g, museli by nyní bookmakeři patrně upravit kursy. Nová studie dává za pravdu spíše evropskému pohledu na celou věc. Skutečně první objevená exoplaneta s podmínkami k životu neexistuje?

Loňský podzim byl ve vodách exoplanetární astronomie hodně emotivní. Američané ohlásili objev první exoplanety, na jejímž povrchu by se mohly nacházet podmínky k životu. Gliese 581 g si však pozornosti dlouho neužila. Jen několik dní po ohlášená objevu oznámili evropští astronomové, že v jejich datech žádná prokazatelná exoplaneta není. Gliese 581 g může být pouhým šumem v měření radiálních rychlostí mateřské hvězdy.

Steven Vogt nazval exoplanetu neformálně po své manželce Zarmina. Hmotnost tělesa se odhadovala na 3,1 až 4,3 Země. Gliese 581 g má podle objevitelů obíhat v obyvatelné oblasti okolo červeného trpaslíka s periodou necelých 37 dní.

V současné době se Gliese 581 g pohybuje v neslavných vodách jakéhosi „undergroundového“ katalogu nepotvrzených, kontroverzních či odvolaných exoplanet. Dostat se do těchto vod nepotvrzeným objevem je snadné, pokud tam však spadne exoplaneta z oficiálního katalogu, je cesta zpět na výsluní obvykle dost obtížná.



---

Philip Gregory (University of British Columbia) představil novou studii, která existenci Gliese 581 g moc nepřije.

Všechny exoplanety u hvězdy Gliese 581 byly objeveny metodou měření radiálních rychlostí. Nejinak tomu mělo být v případě dvou nepotvrzených planet Gliese 581 g a Gliese 581 f. První zmíněná by měla svou gravitací způsobovat amplitudu výchylky radiální rychlosti mateřské hvězdy asi 1,3 m/s, což je na hraně samotné přesnosti dvou špičkových spektrografů – HIRES (USA) a HARPS (Evropa), která činí asi 1 m/s.

Gregory zvolil k analýze zveřejněných dat Bayesianovou analýzu. Ta se nezaměřuje pouze na jednu hypotézu, ale dokáže hodnotit celou řadu možných i méně možných scénářů. Výsledek, který nám Bayesian poskytne, je nejvíce pravděpodobným scénářem.

Gregory vyvinul program a zadal mu modelování situace u hvězdy Gliese 581. Z výsledků pozorování evropského spektrografu HARPS (Chile) vyplývá, že nejlepším scénářem je existence pěti planet s oběžnými dráhami 3, 5, 13, 67 a 400 dní. Tyto výsledky přesně odpovídají parametrům čtyř exoplanet, které byly dosud u Gliese 581 objeveny (a potvrzeny). Pouze exoplaneta s oběžnou dobou 400 dní dosud nebyla nalezena. Američané s objevem Gliese 581 g uveřejnili také objev planety „f“ s oběžnou dobou 433 dní a hmotnosti asi 7 Zemí. Také její existence však byla následně zpochybněna evropským týmem.

Pokud Gregory použil data ze spektrografu HIRES, který stojí za domnělým objevem Gliese 581 g, vyšla mu jako nejpravděpodobnější varianta planetární systém s pouhými dvěma planetami! Teprve po zadání extra dat navíc se objevily i další možné planety. Gregory se domnívá, že na datech z HIRES je něco mírně závadného.

Už od začátku se zdá, že jednou z příčin může být zacházení s výstředností dráhy. Pokud totiž exoplaneta obíhá okolo svého slunce po značně protáhlé dráze, může to ve spektru působit dojmem existence další (druhé) planety. V této souvislosti je vhodné zmínit, že jedna z potvrzených planet (Gliese 581 d) má výstřednost 0,38, což je opravdu dost – viz obrázek: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:GJ581orbits.svg>

Z nové studie vyplývá, že scénář s Gliese 581 g v hlavní roli, je na 99,9978% nepravděpodobný. Odborná veřejnost zatím (dle prvních reakcí) přijala Gregoryho studii velmi pozitivně jako sofistikovanou a mimořádně kvalitní.

Definitivní tečku za story Gliese 581 g udělají až další pozorování, případně nástup přesnějších spektrografů.

Astronomové mimochodem ještě stále čekají na kompletní data svých ženevských kolegů (HARPS), na základě kterých byl objev Gliese 581 g dementován. Pokud si totiž myslíte, že výměna dat mezi týmy na obou stranách

---

Atlantiku probíhá tak nějak pružně, pak jste na velkém omylu. Konkurence je i zde velká, přece jen jde o špičkový výzkum.

### **Zdroje:**

<http://arxiv.org/abs/1101.0800>

<http://www.wired.com/wiredscience/2011/01/gliese-581g-questioned/>

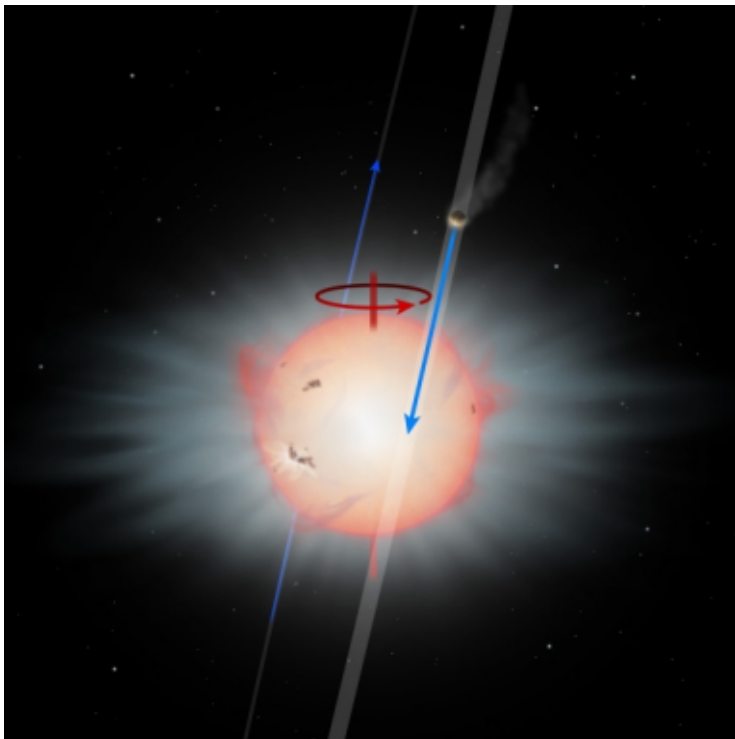
## **Skloněné oběžné roviny exoplanet**

Výzkumy z poslední doby ukazují, že ve vesmíru mohou být velmi časté případy, kdy rovina oběžné dráhy planety je dosti nakloněna vůči rovině rovníku mateřské hvězdy. Japonští astronomové z Tokijské univerzity a Národní astronomické observatoři si vzali na zoubek exoplanety XO-4 b a HAT-P-11 b.

Teorie i zkušenost ze Sluneční soustavy velí, že planety by měly obíhat přibližně v rovině kolmé na osu rotace mateřské hvězdy. Nebo chcete-li jinak: rovina oběžné dráhy by měla být přibližně shodná s rovinou rovníku hvězdy. Myšlenka vychází z principu, že hvězda i planety vznikly z rotujícího disku prachu a plynu.

Zkušenosti s exoplanetami však říkají něco jiného. Astronomům se už podařilo objevit řadu systémů, kde rovina oběžné dráhy planety svírá s rovinou rovníku hvězdy rozhodně nezanedbatelný úhel. Podle studie japonských vědců, by takovéto případy nemusely být extrémní, ale spíše dosti běžné.

Astronomové využili 8,2 m velký dalekohled Subaru k pozorování dvou známých exoplanet. HAT-P-11 b byla objevena v roce 2009. Jedná se o planetu podobnou Neptunu s hmotností asi 26 Zemí a poloměrem 0,5 Jupiteru (5 Zemí). Okolo své mateřské hvězdy obíhá exoplaneta s periodou 4,9 dní. Podle výsledků měření se zdá, že sklon roviny oběžné dráhy činí plných 103°.



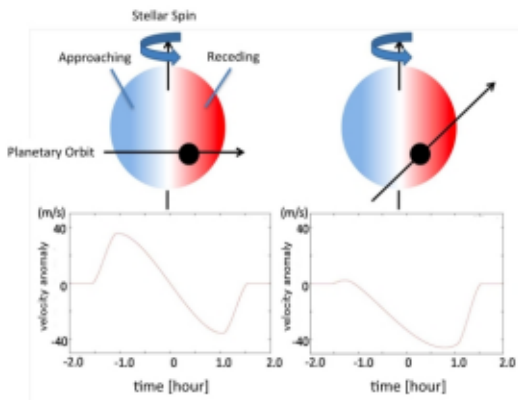
**Obr.9** Schéma zobrazuje výrazně nakloněnou rovinu oběžné dráhy exoplanety HAT-P-11 b vůči rovině rovníku mateřské hvězdy. Zdroj: subarutelescope.org

Druhým případem je XO-4 b o hmotnosti 1,7 a poloměru 1,3 Jupiteru. Exoplaneta obíhá okolo svého slunce s periodou 4,2 dní. Rovněž v tomto případě byl změřen významný sklon roviny oběžné dráhy.

Určitě vás napadne otázka, jakým způsobem se úhel roviny oběžné dráhy vůči rovině rovníku měří. Astronomové získávají spektrum mateřské hvězdy v okamžiku, kdy planeta přechází před svou hvězdou. Exoplaneta nejdříve zakryje tu část disku hvězdy, která se k nám vlivem rotace hvězdy přibližuje (na obrázku výše je značena modrou barvou) a poté tu část, která se od nás vzdaluje (červená). Pokud není úhel mezi rovinou rovníku a rovinou oběžné dráhy nulový, je křivka radiálních rychlostí deformovaná (viz obrázek). Tomuto jevu se říká Rossiterův-McLaughlinův efekt.

Zatím není úplně jasné, co přesně je příčinou netypického úhlu oběžných

rovin exoplanet. Může se jednat o následek interakcí s další planetou, případně i důsledek migrace plynného obra. Tzv. horcí Jupiteri totiž vznikají ve větších vzdálenostech od své hvězdy a poté migrují směrem k ní.



**Obr.10** Schéma vlevo představuje situaci, kdy je rovina oběžné dráhy planety přibližně shodná s rovinou rovníku mateřské hvězdy. Pod obrázkem je vidět symetrickou křivku radiálních rychlostí. Obrázek vpravo zachycuje situaci, kdy je oběžná rovina exoplanety výrazně odlišná od roviny rovníku hvězdy. Křivka radiálních rychlostí je deformovaná. Modrá polokoule představuje část hvězdy, která se k nám vlivem rotace přibližuje, červená pak tu část, která se od nás vzdaluje. Zdroj: subarutelescope.org

**Zdroj:**

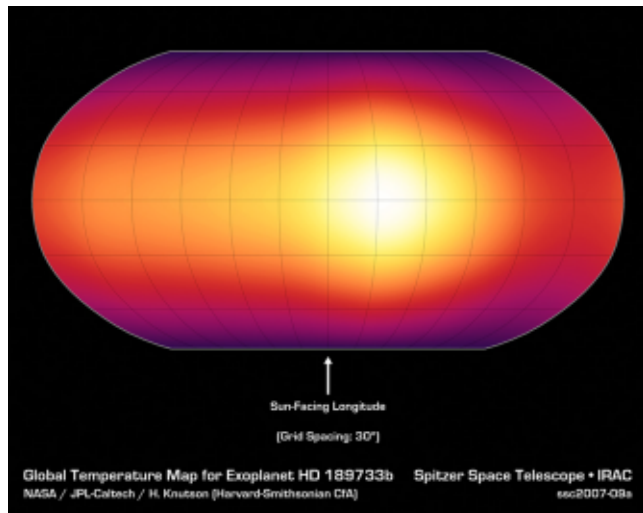
<http://www.subarutelescope.org/Pressrelease/2010/12/20/index.html>

## Může exoplaneta spustit magnetické divadlo a zachránit si tím život?

Na kongresu Americké astronomické společnosti v Seattlu na začátku ledna letošního roku představil své výsledky také tým Edwarda Guinana (Villanova University), který se v poslední době věnoval jedinečné exoplanetární laboratoři HD 189733.

Hvězdu HD 189733 nalezneme v souhvězdí Lištičky ve vzdálenosti 63 světelných let. Pokud se vybavíte mapkou, můžete tohoto oranžového trpaslíka o hmotnosti 0,8 Slunce vidět už v menším dalekohledu. Dobrou šanci vám dává jasnost hvězdy, která činí asi 7,6 mag. HD 189733 je však ve skutečnosti dvojhvězdou. Jejím průvodcem je červený trpaslík, který byl objeven v datech z infračervené přehlídky 2MASS v roce 2006. Vzdálenost mezi oběma hvězdami činí asi 216 AU. Fakt, že se jedná o dvojhvězdu, se nám hodí do krámu, neboť díky tomu lze odhadnout stáří systému – a to zhruba na 5 miliard let.

Okolo hlavní složky obíhá exoplaneta HD 189733 b o hmotnosti a velikosti asi 1,15 Jupiteru, která byla objevena v roce 2005. Ostříleným čtenářům již určité došlo, že pokud známe velikost exoplanety, musí to znamenat, že vykonává tranzity. Tento bonus umožnil astronomům v minulosti prozkoumat atmosféru exoplanety a odhalit v ní vodní páru, oxid uhličitý, sodík ale třeba také metan. Díky kosmickému dalekohledu Spitzer máme i teplotní mapu atmosféry tohoto typického horkého Jupiteru.



**Obr.11** Teplotní mapa exoplanety HD 189733 b sestavena na základě pozorování kosmického dalekohledu Spitzer. Credit: NASA

---

Guinan a jeho tým však nyní obohatili naše znalosti o exoplanetě HD 189733 b (čítající jen tak mimochodem asi 220 odborných prací). Tým pozoroval tranzity exoplanety pomocí arizonského dalekohledu FCAPT (Four College Automatic Photoelectric Telescope) a jeho kolegy Clay Telescope (Las Campanas, Chile). Ze získaných dat se podařilo prokázat, že exoplaneta hraje se svou mateřskou hvězdou hodně zajímavou hru.

HD 189733 b okolo svého slunce obíhá ve vzdálenosti 0,03 AU s periodou 2,2 dní. Je zřejmé, že také planeta svou gravitací ovlivňuje nezanedbatelně mateřskou hvězdu. Konec konců gravitační účinky planetárního průvodce jsou základním kamenem metody měření radiálních rychlostí. V našem případě je však celá situace poněkud drastičtější. Vzájemné gravitační a magnetické interakce ovlivňují moment hybnosti mateřské hvězdy. Ta dostává od planety dárek v podobě urychlení své rotace. HD 189733 se otáčí s periodou asi 12 dní, což je 2x rychleji ve srovnání se Sluncem. Na hvězdu to má vliv v podobě silnějšího magnetického pole, větších skvrn v atmosféře i koronálních emisí v oblasti rentgenová záření.

Nic ale není zadarmo. Planeta naopak díky interakcím přichází o svou orbitální energii, což paradoxně může být dobrou zprávou. Horcí Jupiteri totiž jak známo vznikají ve vzdálenějších končinách a poté migrují směrem k mateřské hvězdě po spirále smrti. Pokud se tento osudný pohyb a zkracování oběžné doby nezastaví, čeká planetu smrt. Migrace se ovšem může těsně před tragickým koncem zastavit a jednou z nejčastějších příčin by mohlo být právě „uzamčení“ oběžné dráhy interakcemi s mateřskou hvězdou. Jestli je tento scénář reálný, však není úplně jasné, zejména v případě HD 189733 b mají vědci více než velké pochyby.

### Zdroj:

<http://www.physorg.com/news/2011-01-planet-affects-star.html>

## EChO: Mise pro detailní průzkum cizích světů postoupila do dalšího kola

V pátek 25. února se v Evropské kosmické agentuře rozhodovalo o budoucích plánech. Komise vybrala čtyři návrhy kosmických projektů, které mají být realizovány v rámci programu Cosmic Vision 2015-2025. Nás samozřejmě velmi těší, že mezi třemi astronomickými družicemi a jednou sondou nalezneme i projekt zaměřený na výzkum extrasolárních planet.

V létě loňského roku vyhlásila ESA výběrové řízení na realizaci budoucích

---

kosmických projektů. Na rozdíl od pokoutných veřejných zakázek v tomto případě nevítezi nejlevnější či nejvíce zkorumpovaná nabídka ale kvalitní projekt, jehož realizace nám může pomoci zodpovědět některé klíčové otázky současné astronomie. Vědecká obec vypracovala za více než půlrok 47 zajímavých projektů. ESA z nich vybrala čtyři nejlepší, které nyní podrobí studii proveditelnosti.

Na seznamu nalezneme rentgenovou observatoř LOFT pro výzkum černých děr a neutronových hvězd, družici STE-QUEST (Space-Time Explorer and Quantum Equivalence Principle Space Test), která by měla disponovat přesnými atomovými hodinami a zkoumat vliv účinků gravitace na čas a hmotu. Do okolí Sluneční soustavy by se mohla vydat sonda MarcoPolo-R, jejímž úkolem by byl odběr vzorků některé z blízkozemních planetek.

My však samozřejmě držíme palce misi EChO (Exoplanet Characterisation Observatory), která by se měla věnovat spektroskopickému výzkumu již objevených exoplanet. Družice by byla umístěna v libračním centru L2 a zaměřila by se zejména na výzkum atmosfér exoplanet, rozložení teploty a albedo (kolik světla atmosféra exoplanety odráží).

O družici EChO jsme už částečně psali v loňském roce, projekt byl tehdy realizován pod názvem ESM (Exoplanet Spectroscopy Mission). Podrobnosti proto najdete v tehdejší článku: <http://www.exoplanety.cz/2010/05/esm/>.

Vybraná mise bude realizována okolo roku 2020 až 2022. Už koncem letošního roku by však ESA měla vyřknout verdikt nad ranějšími projekty programu Cosmic Vision. Mezi horkými kandidáty jsou družice Solar Orbiter, Euclid a PLATO. Projekty jsou nyní v pozdní fázi studie proveditelnosti, pokud budou schváleny, měly by se do vesmíru vydat okolo roku 2017.

Euclid a PLATO jsou alespoň částečně zaměřené na studium exoplanet. Na našem webu jsme o nich už psali:

<http://www.exoplanety.cz/2010/02/plany-esa-plato/>

<http://www.exoplanety.cz/2009/11/skryta-hmota-a-exoplanety-v-jednom-balicku/>

## Zdroj:

<http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=48467>

---

## KOI-730: dvě tranzitující exoplanety obíhají po stejné dráze??

Za první čtyři měsíce pozorování objevil Kepler na 1 200 exoplanetárních kandidátů, přičemž u osmi zkoumaných hvězd byly objeveny hned čtyři kandidáti. Astronomové zaujal zejména možný planetární systém s označením KOI-730. Po identické oběžné dráze ve vzdálenosti jen 0,092 AU obíhají dva exoplanetární kandidáti. Pokud by se objev potvrdil, mělo by to významný dopad na teorie o vzniku a vývoji planetárních systémů.

Hvězda KOI-730 má hmotnost a velikost asi jako Slunce. Kepler u ní objevil čtyři možné exoplanety. KOI označuje Objekt Keplerova zájmu, 730 je číslo mateřské hvězdy a čísla za tečkou označují jednotlivé planetární kandidáty v pořadí, v jakém byli objeveni. KOI-730.01 obíhá ve vzdálenosti 0,12 AU s periodou 14,78 dní a má velikost asi 3,1 Země. KOI-730.04 najdeme ve vzdálenosti 0,076 AU a jeho oběžná doba je 7,38 dní, poloměr pak asi 1,8 Země.

Astronomové však zaujali zejména kandidáti KOI-730.02 a KOI-730.03, kteří obíhají po stejné oběžné dráze ve vzdálenosti 0,092 AU s dobou oběhu 9,84 dní. Poloměr obou planet se odhaduje na 2,3 a 2,5 Země. První planeta předchází svou sestru na oběžné dráze o 60°. Astronomové podobné rozložení poznají, říká se mu Lagrangeovy body nebo také librační centra. Jedná se o body v soustavě dvou hmotných objektů (zde hvězda – planeta), kde se gravitační působení obou těles vyrovnávají. V libračních centrech soustavy Země-Slunce operují některé astronomické družice (např. SOHO), naveden tam má být v budoucnu dalekohled JWST.

V libračních centrech Jupiteru najdeme i přirozená tělesa – skupinu planetek známou pod názvem Trojané. Existence obřích planet na stejné oběžné dráze je však překvapující, i když v minulosti mohla být ve stejné roli naše Země. Podle některých teorií se v libračním centru naší rodné hroudy nacházel několik desítek milionů let po vzniku Sluneční soustavy objekt o velikosti dnešního Marsu. Těleso bylo pokřtěno jako Theia. Díky velké hmotnosti obou těles byla soustava nestabilní a Theia nakonec do Země narazila. Následkem obřího vesmírného karambolu se do okolí mladé Země dostalo velké množství materiálu, ze kterého se následně zformoval Měsíc.

Čeká podobný osud i dvě možné planety u hvězdy KOI-730? Nevíme, ale podle simulací by měl být systém v průběhu nadcházejících 2 milionů let stabilní. Astronomové se prioritně budou snažit existenci všech kandidátů potvrdit.

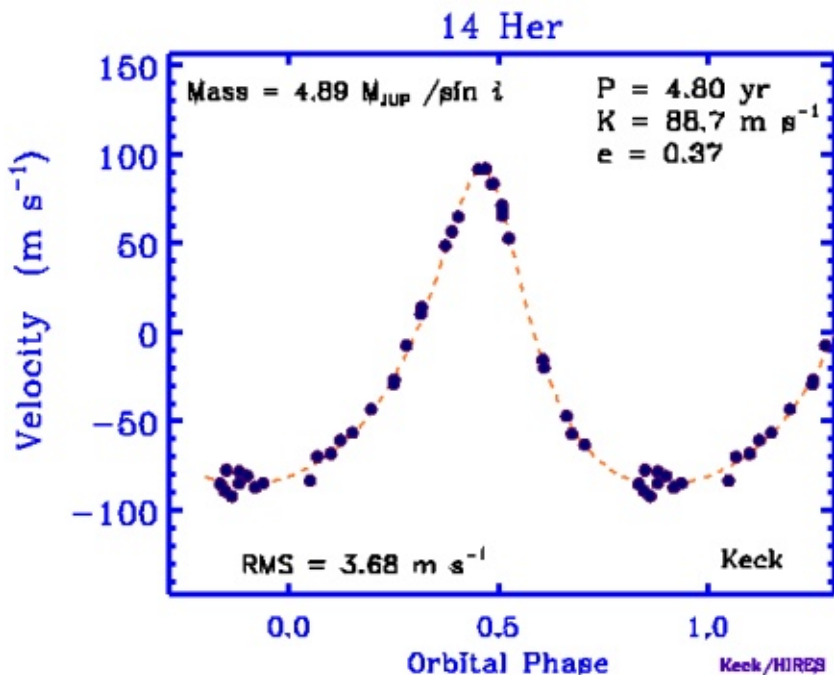
### Zdroj:

<http://www.newscientist.com/article/dn20160-two-planets-found-sharing-one-orbit.html>



## 14 Her: Před léty vylovili ze spektra exoplanetu, přímým zobrazením teď hledají zlou sestru

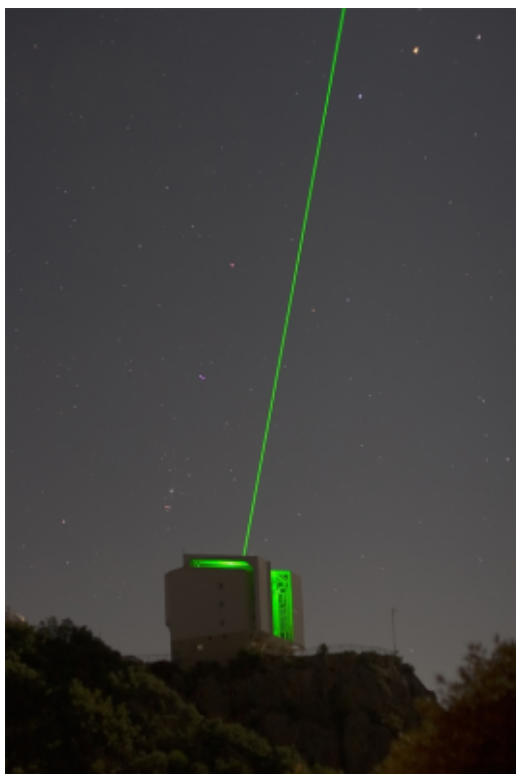
Přímé zobrazení jako metoda výzkumu exoplanet je teprve na počátku. Než se budeme moci kochat snímky exoplanet zemského typu, uplyne ještě mnoho času. Astronomům se zatím podařilo přímou metodou objevit jen hmotné, plynné světy a to ještě bůh ví jestli. Metoda totiž v sobě ukrývá nepříjemnost v podobě dosti špatného odhadu parametrů. Například u hvězdy HR 8799 byly sice objeveny hned 4 objekty přímým zobrazením, zda se však jedná o planety či spíše substelární objekty nelze jednoznačně říci. Hudbou nepřiliš vzdálené budoucnosti by mohla být kolegiální výpomoc dvou metod k hledání exoplanet. Už dnes jsme zvyklí na efektivní spolupráci metody měření radiálních rychlostí a tranzitní fotometrie. Dočkáme se spolupráce metody měření radiálních rychlostí a přímého zobrazení?



**Obr.12** Křivka radiálních rychlostí hvězdy 14 Her zatím ukazuje pouze na existenci jedné planety s protáhlou eliptickou dráhou. Credit: California & Carnegie Planet Search Team

---

Metoda měření radiálních rychlostí dokáže dnes hledat zejména hmotnější exoplanety, které okolo hvězdy obíhají poměrně blízko. Přímé zobrazení naopak ve své současné nedokonalosti umožňuje nalézt planetární společníky spíše ve větších vzdálenostech od hvězdy. Díky tomu se přímo nabízí spolupráce a kombinace obou metod. Dokonce zde máme i vyšlapanou cestičku. Pokud totiž objevíme metodou měření radiálních rychlostí exoplanetu, která okolo své hvězdy obíhá po dosti protáhlé dráze (výstřednost 0,1 až 0,3), máme poměrně velkou šanci, že viníkem je druhá planeta ve vzdálenějších končinách. Ve své studii to v roce 2009 (<http://arxiv.org/abs/0907.0020>) naznačili Timothy J. Rodigas a Philip M. Hinz. Podle nich může přibližně 15% exoplanet s excentrickou dráhou naznačovat existenci další planety.



**Obr.13** Dalekohled MMT v Arizoně. Zelený laser naznačuje, že v akci je zrovna adaptivní optika dalekohledu. Zdroj: [www.mmto.org](http://www.mmto.org)

---

Vytouženým cílem je také nalezení exoplanety metodou měření radiálních rychlostí a její následné přímé pozorování.

Timothy J. Rodigas a Philip M. Hinz se společně se svými kolegy zaměřili na hvězdu 14 Her (známou také jako GJ 614 nebo HD 145675). Stálíci nalezneme v souhvězdí Herkula ve vzdálenosti 65 světelných let. V roce 2002 byla u této hvězdy objevena exoplaneta 14 Her b o hmotnosti 4,64 Jupiteru, která obíhá ve vzdálenosti 2,77 AU s periodou 1 773 dní. Nás však tentokrát nejvíce zajímá výstřednost dráhy, která v tomto případě činí 0,369.

Za protáhlou eliptickou dráhou samozřejmě nemusí být nutně existence další planety. Jednou z příčin může být relativně vzdálený hvězdný průvodce mateřské hvězdy. Několik týmů se proto v minulých letech zaměřilo na 14 Her s cílem prokázat, že se ve skutečnosti jedná o dvojhvězdu s průvodcem v podobě červeného nebo spíše hnědého trpaslíka. Zatím se to však nikomu nepovedlo. V tomto případě může být ale i neúspěch dobrou zprávou.

Přímým zobrazením propátrával okolí hvězdy i tým pod vedením Timothyho Rodigase. Využit k tomu byl přístroj Clio-2 na dalekohledu MMT v Arizoně. Rovněž výsledky poslední studie spíše vylučují existenci hvězdného průvodce a ukazují prstem na možného planetárního viníka. Za výstřednou dráhou exoplanety 14 Her b je patrně další planeta (14 Her c), která by mohla obíhat ve vzdálenosti zhruba 7 až 9 AU a mít hmotnost nejméně 2,1 Jupiteru. Na potvrzení si však tento planetární svět ještě nějakou dobu počká.

### Zdroje:

<http://exoplanets.org/esp/14her/14her.shtml>

<http://arxiv.org/abs/1102.3691>

<http://www.mmt.org/node/246>

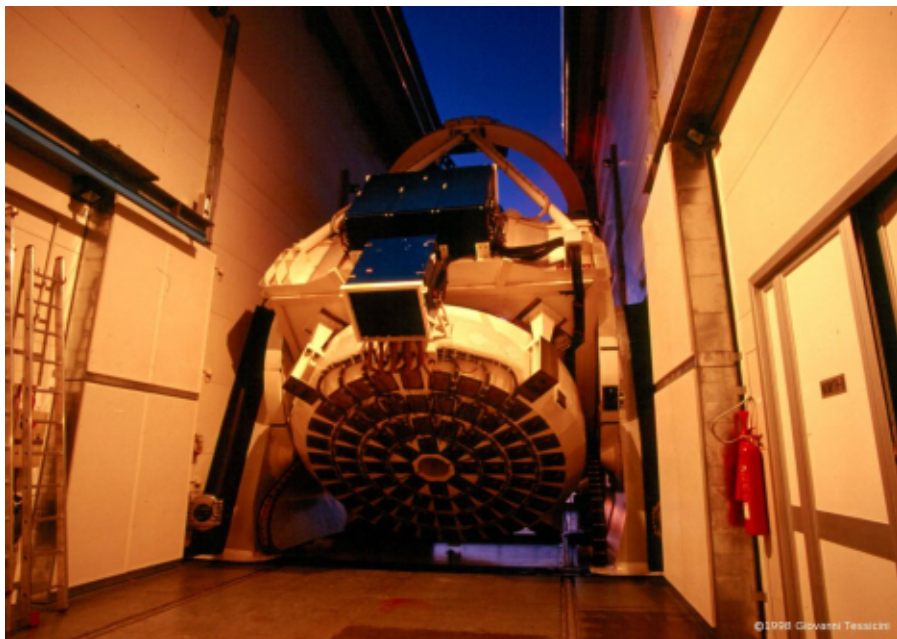
## Severní HARPS aneb exoplanety od Keplera s příchutí Nobelovy ceny

Pozemské týmy, které se zabývají metodou měření radiálních rychlostí, budou mít minimálně pět příštích let díky objevům Keplera o zábavu postaráno. Hlavním úkolem bude ověřování objevených kandidátů a zjišťování jejich hmotnosti. Další kandidáti ještě v následujících měsících a letech přibudou, takže na nedostatek materiálu si určitě nemůže nikdo stěžovat. Největší rivalové na poli výzkumu exoplanet se spojili, aby postavili nový spektrograf, jehož hlavním úkolem bude ověřování kandidátů od Keplera.

Pravidelným čtenářům nemusíme spektrograf HARPS asi příliš představovat. Legendární přístroj je instalován na 3,6 m velkém dalekohledu v Chile. Jeho řízení a správu zajišťuje technicky Evropská jižní observatoř, z hlediska odborné práce však drží otěže bašta evropského exoplanetárního výzkumu – Ženevská observatoř.

USA a Evropa se už před několika lety dohodly, že by si úspěšný HARPS zasloužil bratříčka. Začal se proto připravovat projekt pod názvem HARPS-N, kde písmeno „N“ značí sever. Nový spektrograf se má nacházet na severní polokouli a to především proto, aby mohl pozorovat oblast okolo letního trojúhelníku, jenž tvoří tři jasné hvězdy – Vega (Lyra), Deneb (Labuť) a Altair (Orel). Právě v této oblasti totiž hledá exoplanety kosmický dalekohled Kepler.

HARPS-N měl být původně instalován na dalekohledu Williama Herschela, který se nachází na Kanárských ostrovech. Zdejší observatoř na hoře Roque de los Muchachos patří mezi nejlepší světová místa pro astronomická pozorování. Nakonec však vyhrál jeho soused – Národní dalekohled Galileo (Telescopio Nazionale Galileo – TNG). Italský dalekohled má průměr 3,58 m a v provozu je od roku 1998.



**Obr.13** Dalekohled TNG na Kanárských ostrovech. Autor: Giovanni Tessicini

---

HARPS-N by měl být z hlediska designu podobný svému chilskému jmenovci. Od spuštění HARPSu (High Accuracy Radial velocity Planet Searcher) nyní uplynulo přesně 8 let a technický vývoj za tu dobu přece jen pokročil. „N“ proto bude o něco modernější a měl by dosáhnout lepších výsledků i větší přesnosti měření radiálních rychlostí (pod 1 m/s).

Jednou z novinek oproti HARPS-N bude laserový hřebenový filtr pro kalibraci spektrografu. Jedná se o relativně novou technologii, založenou na kvantové mechanice. Za tento postup, který má značné důsledky pro spektrografii, dostali John L. Hall (USA) a Theodor W. Hänsch (Německo) v roce 2005 Nobelovou cenu za fyziku.

Laserový hřebenový filtr využívá velmi krátké pulsy laserového světla k vytvoření frekvenčního hřebenu, neboli optických značek různorodých frekvencí s konstantní mezerou mezi sebou. Díky tomu dojde k vytvoření velmi přesného měřítka, které je nutné k přesné kalibraci spektrografu. Pokud vás tato problematika zajímá, můžete si prostudovat materiál Evropské jižní observatoře: odkaz:

<http://www.eso.org/sci/publications/messenger/archive/no.129-sep07/messenger-no129-24.pdf>

Pro účely spektrografu HARPS-N jsou Italové ochotní uvolnit až 80 pozorovacích nocí ročně. Na projektu se podílí především Ženevská observatoř a Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. Pokud vše půjde dobře, měl by HARPS-N spatřit první světlo v dubnu příštího roku.

#### **Zdroje:**

<http://www.eso.org/sci/publications/messenger/archive/no.129-sep07/messenger-no129-24.pdf>

<http://www.tng.iac.es/>

<http://www.cfa.harvard.edu/news/2011/pr201106.html>

## **Když se hvězda napapá a zchladne aneb mateřský kanibalismus**

Za posledních více než 15 let byla objevena řada exoplanet se sebevražednými sklony. Je obecně známo, že obří plynné planety vznikají ve větších vzdálenostech od svých sluncí a následně migrují vstříc pohnutému osudu. Velká část dobrodružných exoplanet se však těsně před kritickou vzdáleností od své hvězdy

---

zastaví a v další migraci nepokračuje. Příčin tohoto jevu může být několik, prim hrají vzájemné interakce mezi planetou a její mateřskou hvězdou. Je však zřejmé, že některé planety se rozhodly svou sebezničující pouť dotáhnout do konce. Astronomové nyní ohlásili objev devíti možných případů mateřského kanibalismu.

Wide Field Camera 3 (WFC3) na Hubblově kosmickém dalekohledu pozorovala hvězdokupu NGC 3603, kterou nalezneme v souhvězdí Lodní kýl na jižní obloze.

Tým pod vedením Loredany Spezzi z Evropské kosmické agentury zaujalo zejména devět hodně zvláštních hvězd. Jejich teplota se totiž pohybuje v rozmezí od 1700 do 2200 K, což je na normální hvězdy velice málo. Připomeňme, že hvězdy typu Slunce mají povrchovou teplotu okolo 6000 K. Samozřejmě existují daleko chladnější hvězdy (např. červení trpaslíci), ale teplota okolo 1700 K je i na ně příliš nízká. Astronomové však podobně chladné objekty znají – hnědí trpaslíci, kteří jsou považováni za přechodnou fázi mezi hvězdami a planetami, dosahují běžně i menších hodnot. Jenomže devět kousků z hvězdokupy NGC 3603 nemůžeme mezi hnědé trpaslíky jen tak snadno zařadit. Hnědí trpaslíci vyzařují jen velmi málo světla a astronomové mají problém je nalézt i v našem nejbližším hvězdném okolí. Hvězdokupa NGC 3603 se přitom nachází ve vzdálenosti asi 22 000 světelných let!



**Obr.14** Hvězdokupa NGC 3603 na snímku z Hubblova dalekohledu. Credit: NASA/ESA

---

Devět hvězd tedy na jedné straně vykazuje nízkou povrchovou teplotu, ale na straně druhé mají solidní zářivý výkon. První parametr je zařaduje mezi hnědé trpaslíky, ten druhý však mezi hvězdy o hmotnosti 0,2 až 1 Slunce.

Tým přichází ve studii s několika možnými vysvětleními. Nejbanálnějším je chyba měření. O něco pravděpodobnější je možnost, že devět hvězd se pouze promítá do polohy hvězdokupy, ale ve skutečnosti do ní nepatří a nachází se podstatně blíže. Nejvíce pravděpodobné vysvětlení je však mnohem zajímavější.

Vědci se domnívají, že devět neposlušných případů jsou vcelku normální hvězdy s relativně normální povrchovou teplotou. Před nedávnem si však k snědku daly své obří planety. Trosky bývalých společníků obalily atmosféru hvězdy. Díky tomu se hvězda jeví větší a zářivější ale především vykazuje mnohem nižší povrchovou teplotu. Takovéto hvězdy se označují pojmem Bloatars (v češtině něco jako nafouklé hvězdy).

Scénář planetárního kanibalismu není nový. První věrohodnější studie jsou staré více než 12 let. V atmosférách některých hvězd byly v uplynulých letech nalezeny stopy lithia, což by taktéž naznačovalo, že hvězda nedávno spolykala svou planetu.

Nalezení hvězd typu „bloatars“ nebude vůbec jednoduché. Podle odhadů se totiž trosky exoplanety během velmi krátké doby (řádově 50 000 let) rozmělní a hvězda se vrátí k obvyklým „parametrům“.

### Zdroj:

<http://arxiv.org/abs/1101.4521>

## Třetí fundamentální teorie vzniku planet na stole?

Před rokem 1995 měla astronomie de facto jen jednu základní teorii, podle které vznikly planety Sluneční soustavy. Astronomové si byli poměrně jistí v kramflecích a domnívali se, že vznik a vývoj planet mají relativně slušně zmapován. Jenomže v polovině 90. let minulého století jsme začali objevovat první planety mimo Sluneční soustavu a naše naivní představy se zhroutily jako domeček z karet.

První teorie předpokládá, že planety (Sluneční soustavy i řada exoplanet) vznikly akrecí. Mračno z prachu a plynu dostane kopanec (například výbuch blízké supernovy) a začne rotovat. Z mračna se postupem času stane disk, ve



---

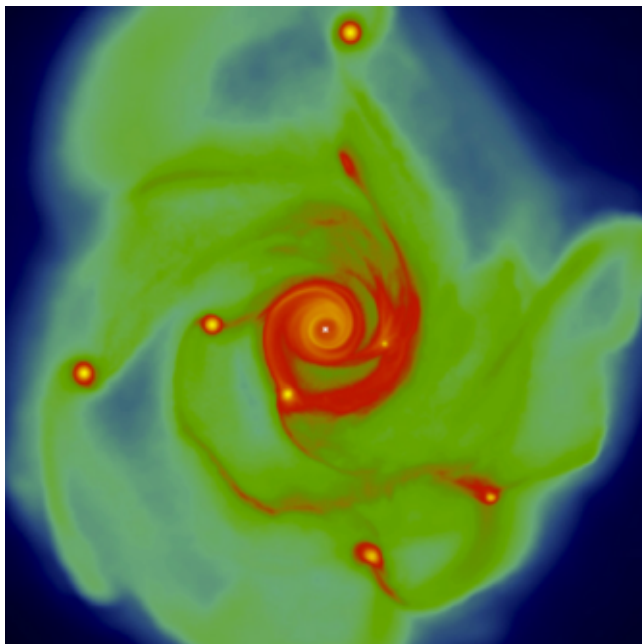
kterém se prachová zrnka postupně srážejí a slučují. Vznikají tak stále větší a větší tělesa.

V základu se dá říct, že akrecí vznikají obří plynné planety i kamenné světy jako je Země z počátku stejně. V případě obřích planet to však akrece trochu přepískne. Jakmile se hmotnost tělesa přehoupne přes hranici přibližně 10 Zemí, gravitace dosáhne takové velikosti, že z plánované kamenné planety se stává jádro budoucího plynného obra, které z disku vychytává lehčí prvky (komponenty budoucí atmosféry).

Druhá teorie vznik plynných obrů výrazně zjednodušuje. V mračnu dojde ke zhroucení plynu a okamžité tvorbě planety – bez kamenného jádra.

Jenomže výsledky výzkumů exoplanet naznačují, že naše představy o jejich vzniku a vývoji nejsou úplně dokonalé.

Sergei Nayakshin (University of Leicester, Velká Británie) přichází s třetí teorií o vzniku a vývoji planet. Jeho hypotéza si bere kousek z jedné a kousek z druhé teorie. Exoplaneta v tomto případě vzniká zhroucením plynového mračna (jako v případě druhé teorie). V nitru rodící se planety ovšem dochází k usazování prachu a vzniku kamenného jádra.



**Obr.15** Nová teorie vzniku planet. Credit: Seung-Hoon Cha, Nayakshin



---

Obří planety nacházíme často velmi blízko svých hvězd (tzv. horcí Jupiteri), jejich místo narození se však nachází mnohem dál od hvězdy. Tyto planety po svém vzniku následně migrují směrem ke hvězdě. Měl by to být i případ planet, vzniklých dle „třetí“ teorie. Nestabilní planeta má během migrace dva možné scénáře vývoje. Pokud je migrace dostatečně rychlá, může být řídká atmosféra rozptýlena slapovými silami mateřské hvězdy a místo jádra plynného obra zde najednou máme kamennou planetu, jako je třeba Země.

Probíhá-li migrace pomalu, může atmosféra zhoustnout a narůst dost na to, aby došlo ke vzniku regulérního plynného obra. Pokud se ale dostane ke hvězdě až moc blízko, může o plynnou obálku zase postupem času přijít, což by vysvětlovalo nález některých velmi horkých exoplanet s proporcemi spíše kamenného světa.

Nová teorie má ovšem řadu odpůrců, takže jako reálný scénář vzniku exoplanet ji zatím považovat nelze. Jako námět na diskuse je to ovšem scénář více než atraktivní. K tématu se ještě v budoucnu určitě vrátíme.

#### **Zdroje:**

[http://www.sciencenews.org/view/generic/id/71776/title/Planets\\_take\\_shape\\_in\\_embryonic\\_gas\\_clouds](http://www.sciencenews.org/view/generic/id/71776/title/Planets_take_shape_in_embryonic_gas_clouds)

<http://arxiv.org/abs/1010.1489>

### **Dvě miliardy obyvatelných exoplanet v Galaxii?**

„Počkejme si na konečné výsledky“ – podobnou větou obvykle odrážejí politici zvědavé dotazy novinářů v okamžiku, kdy je po volbách sečteno jen pár procent hlasovacích lístků. V podobné roli se nyní ocitají astronomové v oblasti odhadu počtu exoplanet zemského typu v naší Galaxii.

Hlavním úkolem kosmického dalekohledu Kepler není ani tak nalezení konkrétních exoplanet zemského typu, jako spíše poskytnutí ucelených dat pro nejrůznější statistické hrátky a kejkle. Pokud bychom to zjednodušili, pak Kepler postupuje následujícím způsobem. Představme si například skupinu exoplanet o velikosti 0,8 až 1,2 Země, které obíhají okolo hvězd podobných Slunci (spektrální třídy K, G, F). Na začátku máme otázku, kolik takových exoplanet vlastně v naší Galaxii může existovat? Jsou jich miliony? Stovky milionů? Miliardy?

Kepler za určitou dobu nalezne u daného vzorku hvězd například 100

---

exoplanetárních kandidátů dané velikosti. Někteří z kandidátů jsou však pouhými falešnými poplachy, nicméně vědci dokážou odhadnout pravděpodobnost existence daných kandidátů. Řekněme, že tato pravděpodobnost bude 90%. Kepler tedy v našem hypotetickém příkladu objevil 90 skutečných exoplanet. Problémem ovšem je, že se jedná pouze o planety, které z našeho pohledu přechází před svou hvězdou. Pravděpodobnost, že rovina oběžné dráhy planety směřuje k nám, je poměrně malá, astronomové ji však dokážou vypočítat a to ze vztahu  $(d^*/a) \cdot 100$ , kde  $d^*$  je poloměr hvězdy, a je velká poloosa planety. Údaj vám vyjde v procentech. Pro soustavu Slunce – Země je tento údaj 0,47%. Jinými slovy: Kepler najde jen každou asi 213. exoplanetu!

Díky tomu můžeme odhadnout počet exoplanet v daném vzorku hvězd třeba na 10 000. Odtud je už jen krůček k tomu, abychom počet exoplanet převedli na oblast celé Galaxie. Připomeňme, že zorné pole Keplera zabírá jen asi 1/400 oblohy, i tak se ale jedná o poměrně seriózní vzorek pro vyvození konkrétních závěrů. Poslední krůček však nemusí být úplně jednoduchý, neboť představy o počtu hvězd v Galaxii se různí. Nejčastěji se uvádí hodnota 200 až 400 miliard (všech) hvězd.

Na světlo světa zatím tým Keplera pustil pouze data, získaná během prvních 132 dní pozorování kosmického dalekohledu, což v reálu představuje přibližně 1/8 délky primární části mise.

Někteří astronomové se už přesto pustili do statických hrátek. Joseph Catanzarite a Michael Shao z JPL zveřejnili studii, která se snaží počet obyvatelných exoplanet zemského typu v celém našem hvězdném ostrově odhadnout.

Sami autoři už v úvodu zmiňují, že jejich odhady budou výrazně zpřesněny v okamžiku, kdy budeme mít k dispozici data za 3 roky nebo dokonce za delší dobu.

Dle výsledků studie se zdá, že 1,4 až 2,7% hvězd typu Slunce může hostit exoplanety zemského typu (0,8 až 2 poloměry Země) v obyvatelné zóně.

Autoři zvolili ve své studii více méně stejný postup, který jsme popsali výše. Vzhledem k omezenému balíku dat jsou však jejich úvahy založeny spíše na předpokladech. Studie očekává, že Kepler objeví asi 12 obyvatelných exoplanet o výše zmíněném poloměru (2 Země je opravdu maximum), které obíhají okolo hvězd spektrální třídy K,F,G. V překladu to znamená, že dané exoplanety by měly obíhat okolo hvězd o velikosti Slunce, případně o něco větší nebo menší. V úvahu se neberou červení trpaslíci, u kterých zatím nemáme zcela jasnou představu, zda i oni mohou hostit obyvatelné exoplanety. Výzkum „obyvatelnosti“ okolí červených trpaslíků patří k současným horkým tématům. Červených trpaslíků je v Galaxii procentuálně suverénně nejvíce, takže jejich ignorace

---

rozhodně není zanedbatelná.

Podle autorů sice Kepler objeví „jen“ 12 obyvatelných exoplanet, ve vzorku 150 000 hvězd jich však může být okolo 3000. Ty ostatní zkrátka nevykonávají tranzity, jejich počet ovšem lze určit, jak jsme to už výše vysvětlili.

Pokud bychom to vztáhli na celou Galaxii, pak okolo přibližně 1,4 až 2,7% hvězd spektrální třídy F, G, K by mohla obíhat exoplaneta zemského typu v obyvatelné oblasti. V absolutních číslech by mohlo jít až o 2 miliardy planet v Galaxii.

### **Zdroj:**

<http://arxiv.org/abs/1103.1443>

## **Exoplanety z druhého břehu II.: Keplerův otec a BOKS-1 b**

Po delší odmlce vám přinášíme druhý díl nepravidelného seriálu o exoplanetách, jejichž existence dosud nebyla potvrzena nebo byla v průběhu času zpochybněna. Rozhodli jsme se čas od času po vzoru Foxe Muldera otevřít zaprášené archívy a povyprávět příběhy nepotvrzených kandidátů na exoplanety. Tentokrát se podíváme na zajímavého kandidáta s názvem BOKS-1 b.

Většina tranzitujících exoplanet je pojmenována po projektu, který stojí za jejich objevem. V katalogu tak máme exoplanety WASP, HAT, XO, TrES, Kepler, CoRoT a další. V seznamu exoplanetárních kandidátů ovšem najdeme i zajímavý kousek s názvem BOKS-1 b. Většina čtenářů zřejmě o lovcích exoplanet s názvem BOKS nikdy neslyšela.

Pod zkratkou se ukrývá název projektu Burrell Schmidt Optical Kepler Survey, který je nazván podle dalekohledu Burrell Schmidt Telescope. Přístroj o průměru 60 cm najdeme na Kitt Peak National Observatory poblíž Tucsonu.

Projekt BOKS byl spuštěn v roce 2006 a měl několik úkolů. Kromě výzkumu proměnných hvězd a hledání exoplanet typu horký Jupiter tranzitní metodou měl poskytnout základní data pro přípravu kosmického dalekohledu Kepler. Dalekohled se zaměřil na 30 000 hvězd ve stejném zorném poli, v němž od roku 2009 jeho kosmický kolega Kepler hledá exoplanety.

Výsledkem projektu BOKS byl objev třech případů, u kterých existovalo podezření na existenci exoplanety. Z dat, které Kepler získal během prvních třech měsíců, vyplynulo, že dva ze tří kandidátů nejsou exoplanety ale zákrytové

---

dvojhvězdy. V prvním případě se jedná o hvězdu spektrální třídy F, která obíhá okolo společného těžiště s červeným trpaslíkem. Ve druhém jde patrně o hvězdu spektrální třídy K, která je v páru s červeným trpaslíkem či hnědým trpaslíkem.

Třetí případ ukazuje na objekt planetární velikosti. BOKS-1 je hvězdou spektrální třídy G8V, má nepatrně menší velikost a hmotnost ve srovnání se Sluncem. Kepler potvrdil to, což už předtím odhalil dalekohled projektu BOKS. Okolo hvězdy patrně obíhá s periodou 3,9 dní exoplaneta o velikosti 1,1 Jupiteru.

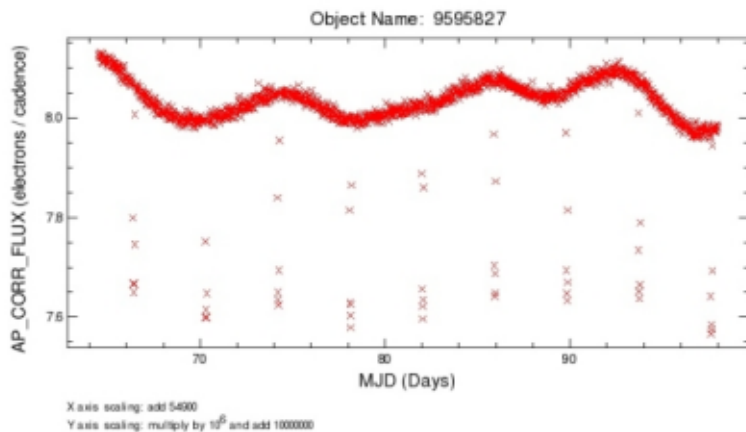


**Obr. 16** Burrell Schmidt Telescope, Credit: NOAO/AURA/NSF

V katalogu ovšem tuto exoplanetu nenaleznete. Mateřská hvězda, nacházející se asi 2 500 světelných let od Země, má poměrně malou jasnost (15 mag). Astronomové jak známo ověřují existenci tranzitujících exoplanet pomocí metody měření radiálních rychlostí. Ze spektra hvězdy kromě potvrzení vypadne i hmotnost planety. Tato metoda sice teoreticky nezávisí na vzdálenosti hvězdy

od nás nebo na její jasnosti, k získání kvalitního spektra ovšem potřebujete jednoduše řečeno „dostatek světla“, což v tomto případě splněno není.

Spektroskopická měření fakticky vylučují, že by tranzity způsoboval hvězdný průvodec. S největší pravděpodobností se jedná o planetu, jejíž existenci však nelze metodou měření radiálních rychlostí v současné době ověřit. BOKS-1 b proto zůstává pouhým kandidátem a jedním z možných, nepřímých úlovků Keplera. V databázi kosmického dalekohledu najdete mateřskou hvězdou pod označením KIC-9595827.



**Obř.17** Světelná křivka hvězdy KID-9595827 sestavena na základě dat z Keplera.  
Credit: NASA

Koncem března 2011 zveřejnil projekt BOKS výsledky dalšího průzkumu Keplerova zorného pole. V databázi jsou nyní světelné křivky 54 687 hvězd. Tým objevil 2457 kandidátů na proměnnou hvězdu, z nichž 776 případů vykazuje periodicitu. Podrobnosti zde: <http://arxiv.org/abs/1103.3660>

### Zdroje:

- <http://arxiv.org/abs/1010.4106>
- [http://www.noao.edu/image\\_gallery/html/im0202.html](http://www.noao.edu/image_gallery/html/im0202.html)
- [http://web.ipac.caltech.edu/staff/kaspar/publications/BOKS\\_small.pdf](http://web.ipac.caltech.edu/staff/kaspar/publications/BOKS_small.pdf)
- [http://nsted.ipac.caltech.edu/cgi-bin/bgServices/nph-bgExec?bgApp=%2FETSS%2Fnph-etss&etss\\_dataset=Kepler&etssdetail=9595827&etssfind=View](http://nsted.ipac.caltech.edu/cgi-bin/bgServices/nph-bgExec?bgApp=%2FETSS%2Fnph-etss&etss_dataset=Kepler&etssdetail=9595827&etssfind=View)

---

## Obyvatelné planety u bílých trpaslíků? Aneb po stopách druhé generace

Hnacím motorem současného výzkumu exoplanet je snaha o nalezení planety velikosti Země, která by obíhala v obyvatelné oblasti. Na povrchu takovéto planety by mohly být podmínky pro existenci vody v kapalném skupenství. Výzkum exoplanet však v sobě ukrývá celou řadu dalších zajímavých oborů a příležitostí. V poslední době se stále více vyskytují v exoplanetárních studiích bílí trpaslíci. Ať už se jedná o binární systémy, kde je bílý trpaslík v páru s jinou hvězdou (viz seznam článků na konci) nebo o bílé trpaslíky jako takové. Eric Agol, který pracuje na Kalifornské a Washingtonské univerzitě, oba zmíněné obory spojil. Máme hledat obyvatelné exoplanety u bílých trpaslíků?

Obyvatelná oblast je fakticky pouhou matematickou zkratkou, která je založena na celé řadě fyzikálních vlastností hvězdy. Sama o sobě nám nic neříká o skutečných podmínkách na povrchu případné planety. Hovoří pouze o určitých předpokladech pro hypotetickou planetu.

Parametry obyvatelné oblasti si můžete vypočítat de facto pro jakýkoliv typ hvězdy. Na místě je samozřejmě otázka, zda to má pokaždé smysl.

V odborné literatuře je obyvatelná oblast známa pod zkratkou HZ (habitable zone). V poslední době na nás vystrkuje růžky ještě jedna zkratka – WDHZ. Jedná se o obyvatelnou oblast u bílých trpaslíků. Kdo si někdy přečetl nějakou astronomickou knihu nebo chodil do astronomického kroužku, určitě ví, co to bílý trpaslík je.

Také naše Slunce se jednoho dne stane bílým trpaslíkem. Nejdříve si však projde fází rudého obra (zvětší svůj objem) a odhodí svou plynnou obálku. V ohnivě náruči rudého obra zaniknou všechny vnitřní planety. Hledat proto prakticky cokoliv v obyvatelné oblasti u bílého trpaslíka může vypadat jako naprostá ztráta času. Ale nepředbíhejme.

Bílý trpaslík je ve svém počátku nesmírně horký – dosahuje řádově desítky tisíc Kelvinů. Postupem času ovšem chladne. Bílý trpaslík má obvykle hmotnost jako Slunce (nebo desetiny Slunce) ale poloměr podstatně menší – srovnatelný se Zemí (respektive zhruba 5 až 15 000 km).

Jednou z dnešních hlavních metod hledání exoplanet je tranzitní fotometrie. Pokud planeta přechází z našeho pohledu před diskem hvězdy, dochází k periodickým poklesům jasnosti hvězdy. Hloubka tranzitu přitom závisí na velikosti hvězdy a planety. V případě bílých trpaslíků tak může i planeta o velikosti Země způsobit značný pokles jasnosti.

Agol se zabývá ve své práci stanovením parametrů obyvatelné oblasti u bílých trpaslíků. Podle jeho výpočtů se zdá, že ideální podmínky mají bílí trpaslíci do 3 miliard let svého věku.

Pro bílé trpaslíky o hmotnosti 0,4 až 0,9 Slunce a teplotě nižší než 10 000 K by

se obyvatelná oblast nacházela ve vzdálenosti 0,005 až 0,2 AU.

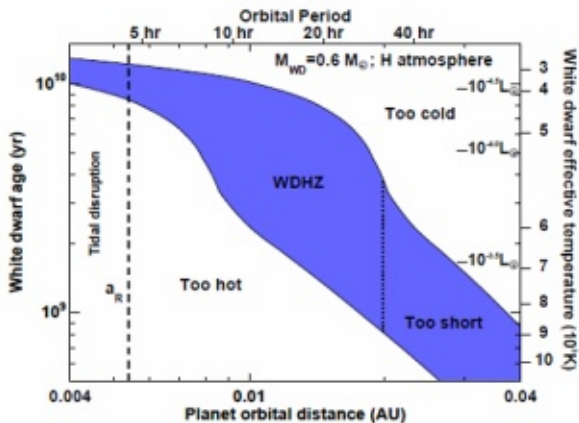
To vše je sice velmi hezké, ale může vůbec nějaká planeta přežít fázi rudého obra v tak malé vzdálenosti? Tuto myšlenku můžeme snadno vypustit z hlavy, neboť jednoznačná odpověď zní, že ne.

Agol totiž bere do úvahy jiné možnosti. Planeta o velikosti Země by mohla směrem k bílému trpaslíkovi migrovat ze vzdálenějších končin. Vhodnějšími cíly tak mohou být bílí trpaslíci, kteří jsou v páru s jinou hvězdou. V takovém systému dochází ke gravitačním interakcím.

Další variantou je vznik planety druhé generace. Takový objekt by mohl být uplácán z plynu a prachu, který obklopuje bílého trpaslíka po odhození plynné obálky dávne hvězdy.

Důkazem, že tato výroba planet druhé generace může fungovat, jsou mimo jiné objevy objektů planetární velikosti u pulsarů. V tomto případě vznikly planety až po výbuchu supernovy z trosk hvězdy hlavní posloupnosti.

V blízkosti bílých trpaslíků už byly odhaleny i stopy prachu, který vznikl patrně rozdrčením planetky, jenž k němu byla vymršťována při gravitačních hrátkách s velkou planetou, nacházející se ve vzdálenějších končinách dávneho planetárního systému.



**Obř. 17** Obyvatelná oblast u bílých trpaslíků. Na ose vlevo je věk bílého trpaslíků v miliardách let. Na spodní ose vzdálenost od trpaslíka v AU, na horní ose oběžná doba případné planety ve vnech. Na pravé ose pak vidíme povrchovou teplotu bílého trpaslíka v jednotkách tisíců Kelvinů. Čárkovaná čára značí vzdálenost, ve které by případná planeta zemského typu byla roztrhána slapovými silami bílého trpaslíka.

Credit: Eric Agol

---

Agol se domnívá, že bychom měli změnit současné myšlení a přestat bílé trpaslíky ignorovat jako možné hostitele obyvatelných planet.

Reálnou šanci na objev exoplanety zemského typu u bílého trpaslíka dostane připravovaná družice GAIA (start v roce 2013). Ještě lepším nástrojem by mohl být obří dalekohled LSST (Large Synoptic Survey Telescope) o průměru 8,2 m, který vyrůstá na hoře El Peñón v Chile. Dalekohled má být schopen během několika dní pročesat celou oblohu. Výsledky pak budou použity k rozličným astronomickým účelům.



**Obr.18** Odpálení části hory El Peñón pro účely výstavby dalekohledu LSST. Bílá čára na horním snímku ukazuje, kam až musí být skála dalšími odpaly odstraněna. Zdroj: [lsst.org](http://lsst.org)



---

Dalekohled bude v akci někdy koncem tohoto desetiletí. Dne 8. března začala na hoře El Peñón viditelnější fáze výstavby. Místo bagrů přišla na řec trhavina. Došlo k odpálení asi 320 metrů krychlových hornin. Podobných odpalů čeká horu během čtyř měsíců několik desítek.

#### Zdroje:

<http://arxiv.org/abs/1103.2791>

<http://www.lsst.org/lsst>

<http://www.centauri-dreams.org/?p=17182>

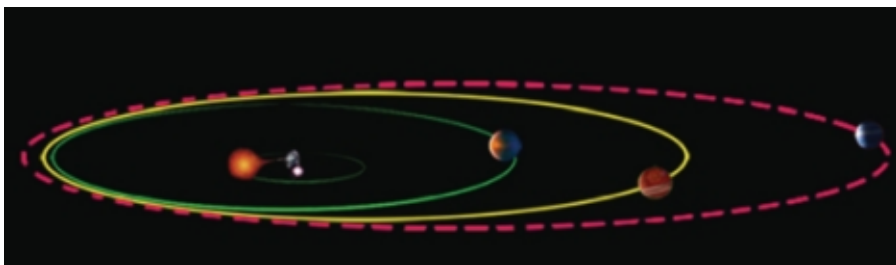
## Kataklyzmická proměnná HU Aqr aneb planetární systém se šílenými rodiči

V minulém čísle jsme vám psalo o objevu exoplanety, která obíhá okolo kataklyzmické proměnné hvězdy DP Leo. Hned tři možné planety u podobného typu dvojhvězdy nyní ohlásili čínští astronomové.

Vědci se zaměřili na dvojhvězdu HU Aqr v souhvězdí Vodnáře. Obecně se jedná o zákrytovou dvojhvězdu. Přestože běžným dalekohledem obě složky nerozeznáme, můžeme pozorovat vzájemné zákryty, které se ve světelné křivce (graf závislosti jasnosti na čase) projevují jako periodické změny jasnosti „hvězdy“. Pokud by okolo dvojhvězdy obíhaly nějaké planety, k zákrytům by nedocházelo se železnou pravidelností, ale našli bychom v periodě nepatrné odchylky.

Čínští astronomové takové odchylky v případě HU Aqr objevili. Podle jejich studie obíhají dvojhvězdu dvě planety o hmotnosti nejméně 5,9 a 4,5 Jupiteru. První z planet HU Aqr (AB) b by se měla pohybovat po spíše kruhové dráze ve vzdálenosti 3,6 AU s dobou oběhu 6,54 let. Druhá a méně hmotná HU Aqr (AB) c okolo dvojhvězdy obíhá po protáhlé eliptické dráze ve vzdálenosti 5,4 AU s dobou oběhu 11,96 let. Tyto orbitální parametry jsou přibližně srovnatelné s Jupiterem.

Podezření na existenci exoplanety HU Aqr (AB) b měli astronomové již od roku 2009, kdy byly zveřejněny výsledky pozorování HU Aqr kosmickým dalekohledem XMM-Newton.



**Obr.19** Planetární systém u kataklyzmické proměnné hvězdy HU Aqr. Červenou tečkovanou čarou je znázorněna pravděpodobná oběžná dráha třetí, dosud nepotvrzené planety. Credit: S.-B. Qian et al.

Binární systém HU Aqr však není jen tak ledajaký. Jedná se o kataklyzmickou proměnnou hvězdu typu AM Her, která se v odborné literatuře označuje jako polar. Svůj název si tento typ proměnné hvězdy vysloužil tím, že produkuje kruhově a lineárně polarizované světlo. Dvojhvězdy tohoto typu mají rovněž velmi silné magnetické pole.

Dvojhvězdu v tomto případě tvoří červený trpaslík (hmotnosti 0,2 Slunce) z něhož přetéká materiál na bílého trpaslíka o hmotnosti asi 0,9 Slunce. Obě složky okolo sebe obíhají s periodou 2,08 hodin.

Astronomové se domnívají, že planetární systém má ještě třetího člena. K ověření však bude potřeba HU Aqr pozorovat dalších nejméně 10 let.

Poznámka: pod pojmem kataklyzmické proměnné hvězdy rozumíme takové, u kterých dochází nepravidelně (případně jen jednou) k prudkému zjasnění. Mezi kataklyzmické proměnné hvězdy se často zařazují také novy a supernovy.

#### Zdroje:

<http://arxiv.org/abs/1103.2005>

[http://www.aanda.org/index.php?option=com\\_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/aa/abs/2009/12/aa11485-08/aa11485-08.html](http://www.aanda.org/index.php?option=com_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/aa/abs/2009/12/aa11485-08/aa11485-08.html)

---

# Sluneční soustava

## Šumivý oceán pod povrchem Enceladu

Autor: Vladimír Kocour, [planetary.cz](http://planetary.cz)

Kolem planety Saturn obíhá 62 různě velkých měsíců. Mezi ty větší, kulového tvaru patří: Titan, Rhea, Tethys, Dione, Mimas a Enceladus. Všechny tyto měsíce mají střední hustotu jen o málo převyšující hustotu vody, 1 g/cm<sup>3</sup>. Z toho vyplývá, že jsou tvořeny převážně vodním ledem a různými příměsemi, případně mohou mít malé jádro tvořené silikátovými horninami. Tyto měsíce byly dlouho považovány za mrtvá, zcela zmrzlá tělesa (kromě největšího měsíce Titanu, o kterém se vědělo, že má atmosféru). Od té doby poznání značně pokročilo; dnes víme, že některé měsíce nejsou mrtvými tělesy, ale neustálý ohřev slapovými silami ostatních měsíců v nich udržuje geologickou aktivitu. Jde o podobný efekt jako u Jupiterova měsíce Io, jen ne v tak extrémní podobě.

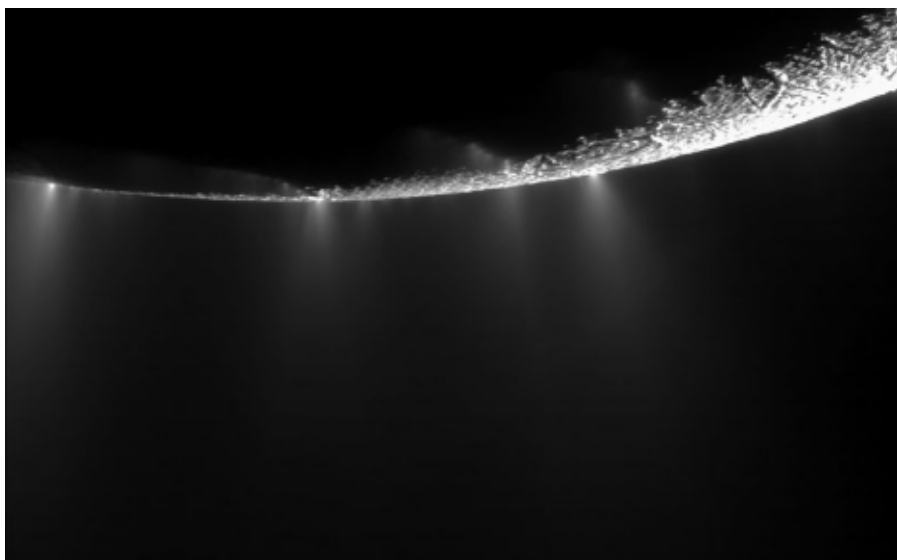
V roce 2005 sonda Cassini zaznamenala plynné erupce z povrchu Saturnova měsíce Enceladus (průměr 500 km). Míst, odkud plyn tryská, je několik a dostala i svoje jména. Od objevu výtrysků se vedou diskuse, zda má Enceladus tekutý oceán pod zmrzlým ledovým povrchem, či nikoli. Nová data ukazují, že nejenže Enceladus má tekutý oceán, ale možná i oceán z tekutiny smíchané s plynem (podobně jako u šumivých nápojů) a že toto prostředí může být příznivé pro přežití mikroorganismů.

Původně se astronomové domnívali, že převážně ledové měsíce Saturnu jsou zcela zmrzlá, mrtvá tělesa, zajímavá snad jedině počtem a rozložením impaktních kráterů z dob velkého bombardování v raných stádiích vývoje sluneční soustavy. Sonda Cassini však zjistila, že ne u všech měsíců tomu tak doopravdy je. Mimas a Enceladus jsou téměř stejně velké měsíce, ale zatímco Mimas je skutečně klidné těleso, na Enceladu dochází k občasným výtryskům vodní páry. Vodní pára s sebou unáší krystalky ledu a částičky organických sloučenin. Spektrometry na sondě Cassini ukázaly, že kromě vody H<sub>2</sub>O obsahují tryskající plyny také vodík, uhlík, dusík, kyslík a různé uhlovodíky. Přítomnost soli (NaCl) se nepotvrdila.

V roce 2009 sonda Cassini odhalila příčinu existence výtrysků na Enceladu. Ukázalo se, že teplota v prasklinách v ledovém krunýři Enceladu je 190 K. Tak vysoká teplota musí být vulkanického původu. Nejedná se ovšem o vulkanismus v pozemském smyslu slova. Zatímco na Zemi je vulkanismus doprovázený obrovskými teplotami a ze sopek vytéká láva, na Enceladu plní funkci lávy voda. Voda na Enceladu ovšem není čistá, obsahuje příměsi dalších látek,

---

často s mnohem nižším bodem varu – tedy plyny. Pod ledovou povrchovou vrstvou silnou asi 100 metrů se nachází voda v tekutém stavu. Plyny, které jsou v ní rozpuštěné, způsobují, že tato voda se chová podobně jako sodovka. Měsíc Enceladus je ovlivňován slapovými silami způsobenými gravitačním působením vzdálenějších měsíců. Tyto síly vyvolávají uvnitř měsíce tření, které je zdrojem tepla. Vodní led se rozehřívá na tekutou vodu a těkavé složky se při vyšší teplotě shlukují do bublinek a přispívají k tomu, že voda v některých místech „vyvře“ na povrch. Gravitace Enceladu je nízká, a tak pára tryská do vzdálenosti stovek kilometrů.



**Obr.20** Gejíry na povrchu Enceladu. Největší pukliny v ledu se jmenují Damašek, Baghdád, Káhira a Alexandria. Zdroj: Wikipedie.

Nikdo neví přesně, co se děje pod povrchem Enceladu. Přítomnost mnoha různých biogenních prvků pohromadě a dynamické prostředí směsi vody a plynů podporují domněnku, že takové prostředí by mohlo být příznivé i pro primitivní život.

#### Zdroje:

<http://www.astrobio.net/pressrelease/3756/a-fizzy-ocean-on-enceladus>  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Enceladus\\_\(moon\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Enceladus_(moon))

---

## Atmosféra Marsu a uhlíčitany

Autor: Vladimír Kocour, [planetary.cz](http://planetary.cz)

Současná řídká atmosféra Marsu vyvolává řadu otázek: například, jestli byla vždy tak řídká. Dnes známe povrch Marsu již velmi podrobně, takže bezpečně víme, že kdysi byla na Marsu tekutá voda. A proto také atmosféra musela být hustší než dnes. Proč však zřídla, a jak se to stalo? Jaké měla kdysi složení? Dílčí krok k hledání odpovědi na tyto a řadu dalších otázek představují uhlíčitany na povrchu Marsu, zkoumané dálkově pomocí sondy Mars Reconnaissance Orbiter (MRO).

Sonda MRO s přístrojem CRISM na palubě je schopna dálkově zjistit chemické složení povrchových hornin na Marsu. Na několika místech povrchu Marsu, v okolí velkých kráterů nalezla jílovité horniny obsahující uhlíčitan železnatý a vápenatý. Jeden z těchto kráterů je kráter Huygens o průměru 467 km. Není to první detekce uhlíčitanů na povrchu Marsu. Dříve objevené horniny však obsahovaly převážně uhlíčitan hořečnatý. Uhlíčitan vápenatý nacházíme na Zemi většinou na dně oceánů a k jeho vzniku je zapotřebí interakce kysličníku uhlíčitého a vody (geochemický karbonátový cyklus). Také jily vznikají za účasti vody. Při vzniku kráteru Huygens se dopadem meteoroidu mohl dostat na povrch materiál z hloubky až 5 km. Toto číslo se může na první pohled zdát obrovské – na Marsu však v důsledku menší gravitace dosahují terénní nerovnosti a hory mnohem větších výšek. Předpokládá se, že objevené uhlíčitany vznikly v době, kdy atmosféra Marsu byla mnohem hustší a vyskytovala se v ní voda. Později byl jílovitý materiál obsahující uhlíčitany pohřben pod lávovými příkrovy v důsledku vulkanické činnosti. Na povrch se dostal až v době vzniku kráteru.

Oxid uhlíčitý je dominantní složkou dnešní atmosféry Marsu, a patrně jí byl i v dávných dobách, kdy byla hustší. Objev uhlíčitanu vápenatého a jílu, navíc pocházejících z podpovrchových vstev ukazuje na to, že na Marsu nejen byla tekutá voda, ale část kysličníku uhlíčitého tvořícího dříve atmosféru, je dnes vázána v uhlíčitanech. Již 5 let je známo, že pod viditelným povrchem Marsu je ukryt rozsáhlý „ledový oceán“. Také množství kyslíku a uhlíku, tvořících dříve atmosféru v podobě kysličníku uhlíčitého, může být významné. Přesnější odpovědi na tuto otázku se bude zabývat projekt MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile Evolution). Start kosmické sondy projektu MAVEN je plánován na konec roku 2013.

### Zdroj:

<http://www.astrobio.net/pressrelease/3835/some-of-mars%E2%80%99-missing-carbon-dioxide-may-be-buried>

---

# Nové exoplanety

## Exoplaneta se dvěma jmény aneb tranzitní fotometrie funguje

Tranzitní fotometrii dnes vévodí zejména dva vyhledávací projekty – SuperWASP a HATNet. Jejich úlovky poznáte v katalogu snadno. Jednotlivé exoplanety jsou označeny jako HAT-P-XX b, případně WASP-XX b, kde XX je pořadové číslo exoplanety. Letos v lednu došlo ke kuriózní situaci. Projekt HATNet oznámil objev nové exoplanety HAT-P-27 b. Jen několik dní poté, představil stejnou exoplanetu i projekt SuperWAS. Oba týmy pracovaly nezávisle na sobě, což nám dává dobrou příležitost, konfrontovat získaná data.

Mateřská hvězda se nachází v souhvězdí Panny a je nepatrně menší a méně hmotná než naše Slunce. Vzhledem k tomu, že oba týmy pracovaly nezávisle a zaslouží si rovným dílem „skalp“ této planety, byl nový přírůstek do katalogu zařazen pod trochu komplikovaným názvem HAT-P-27/WASP-40 b. Zkusme nyní porovnat data z obou projektů.

### Poloměr

Projekt HATNet odhal poloměr exoplanety na 1,038 Jupiteru. Se započtením odchylek by to dělalo 0,980 až 1,115 Jupiteru. SuperWASP dospěl k hodnotě 1,055 Jupiteru. Se započtením odchylek pak 1,019 až 1,108 Jupiteru.

### Oběžná doba

HATNet určil oběžnou dobu exoplanety na  $3,039586 \pm 0,000012$  dny. Jejich konkurenti na  $3,0395721 \pm 0,0000078$  dny. Zde je tedy rozdíl mezi oběma týmy ještě menší, liší se až v hodnotě na pátém desetinnám místě (bereme v úvahu střední hodnoty).

### Hmotnost exoplanety

Za hmotnost exoplanety už týmy přímo neručí, neboť hodnoty bylo potřeba získat ze spektra mateřské hvězdy. HATNet oslovil observatoř Las Campanas v Chile, kde získali radiální rychlosti hvězdy pomoci 2,5 m dalekohledu. Kromě toho byla hvězda pozorována 2,3 m dalekohledem Siding Spring Observatory v Austrálii. Z výsledků vyplývá, že hmotnost planety by měla být  $0,660 \pm 0,033$  Jupiteru.

SuperWASP využil k získání křivek radiálních rychlostí známý spektrograf SOPHIE na 1,93 m dalekohledu ve Francii. Odhad hmotnosti je  $0,617 \pm 0,088$  Jupiteru. Týmy se tedy liší o 0,043 Jupiteru, což je vzhledem k současným přesnostem spektrografů docela dobrý výsledek.

---

Současný případ není prvním společným objevem. V katalogu nalezneme i exoplanetu WASP-11/HAT-P-10 b.

### Zdroje:

<http://arxiv.org/abs/1101.3511>

<http://arxiv.org/abs/1101.4643>

## Kepler-10 b

Počátkem ledna představila NASA v americkém Seattlu devátou (respektive desátou) exoplanetu, kterou objevil kosmický dalekohled Kepler. Exoplaneta s označením Kepler-10 b je první kamennou planetou od Keplera. Hmotnost exoplanety je 4,6 Země a poloměr 1,4 Země. Jedná se tedy o dosud nejmenší známou exoplanetu. Život na jejím povrchu však čekat nemůžeme, okolo svého Slunce doslova létá s periodou 20 hodin!

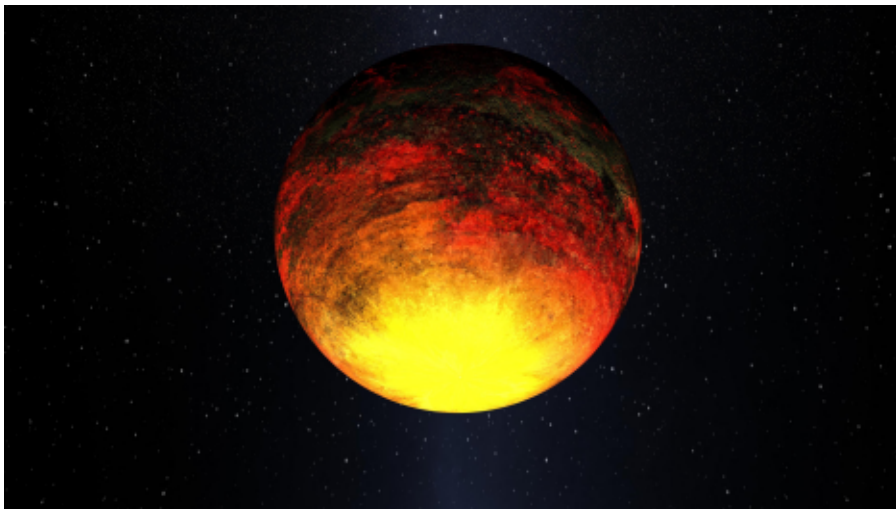
Na povrchu exoplanety Kepler-10 b byste patrně dovolenou trávit nechtěli. Teplota se zde pohybuje okolo 1 500°C.

Díky pozorování Keplera byli astronomové schopní změřit velikost exoplanety. O potvrzení její existence a zjištění hmotnosti se v uplynulých měsících postaral spektrograf HIRES, který je instalován na 10 m velkém dalekohledu Keck (Havaj).

Na základě znalosti hmotnosti a poloměru můžeme vypočítat hustotu exoplanety, která je asi 8 800 kg/m<sup>3</sup>, což je asi o 60% více ve srovnání se Zemí. Podle teoretických modelů by měla exoplaneta obsahovat velké procento železa.

### Srovnání s dalšími kamennými planetami

Kepler-10 b je nejmenší známou exoplanetou u hvězdy hlavní posloupnosti. O druhé místo se těsně dělí nedávno potvrzená exoplaneta Kepler-9 d a CoRoT-7 b. Druhá jmenovaná je však nejen o přibližně 0,2 poloměru Země větší, ale nepodařilo se u ní zcela přesně určit hmotnost a velikost (viz náš článek), jako je tomu nyní u Kepler-10 b. Samozřejmě zde máme i celou škálu dalších exoplanet s kamenným povrchem (např. u hvězdy Gliese 581), které ovšem nevykonávají tranzity, takže jejich velikost určit nelze a hmotnost můžeme pouze odhadnout.



**Obr.21** Kepler -10 b v představách malíře. Credit: NASA

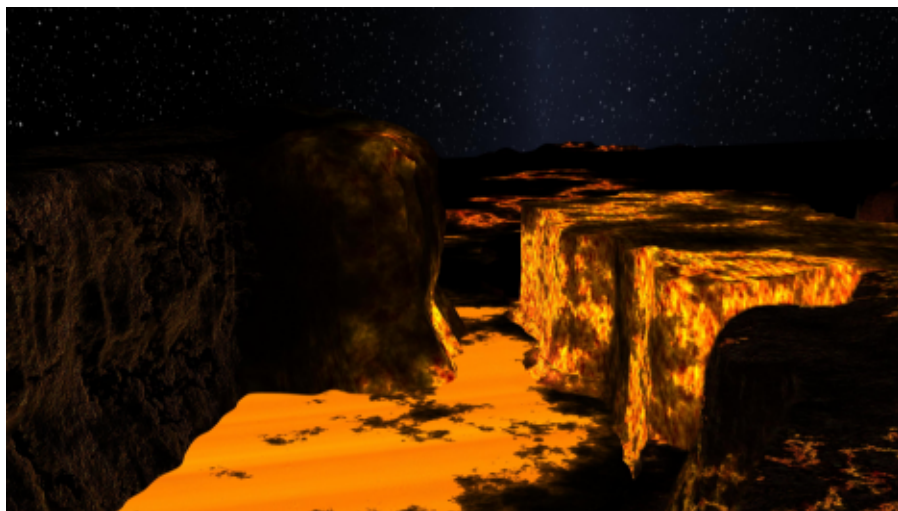
### **Mateřská hvězda**

Kepler-10 b obíhá okolo své hvězdy ve vzdálenosti jen 0,01684 AU, což je více než 20x blíže, než obíhá Merkur okolo Slunce. Na rozdíl od některých předešlých objevů kamenných exoplanet, v tomto případě je mateřskou hvězdou stále podobné spektrální třídy jako naše Slunce. Kepler-10 má hmotnost i velikost srovnatelné s naší hvězdou. Povrchová teplota je nepatrně nižší, vzdálenost hvězdy je přibližně 560 světelných let. Přestože velká část zorného pole Keplera leží v souhvězdích Labutě a Lyry, malinká část zasahuje do souhvězdí Draka. A právě v tomto souhvězdí najdeme hvězdu Kepler-10.

### **Druhá planeta?**

Okolo hvězdy Kepler-10 navíc možná obíhá další planeta o hmotnosti méně než 20 Zemí a poloměru 2,2 Země. Oběžná doba zatím nepotvrzené exoplanety Kepler-10 c je asi 45,3 dní, což zhruba odpovídá polovině oběžné doby Merkuru v našem planetárním systému. Existence planety ovšem dosud nebyla potvrzena měřeními radiálních rychlostí, hmotnost je spíše odhadnuta na základě očekávaného složení (hustoty).





**obr. 22** Povrh exoplanety Kepler-10 b v představách malíře. Credit: NASA

## **Nová exoplaneta HAT-P-30 b aneb mají horké hvězdy extravagantní dcery?**

Čerstvý objev potvrzuje teorii, o které se šušká posledních několik měsíců. Podle dosavadních výsledků se zdá, že exoplanety s extrémním sklonem oběžné dráhy, obíhají okolo hmotnějších a teplejších hvězd.

HAT-P-30 b je na první pohled typickým nafouklým horkým Jupiterem. Poloměr exoplanety se odhaduje na 1,34 Jupiteru. Ze spektra mateřské hvězdy se podařilo odhadnout hmotnost planety na 0,71 Jupiteru. Hustota HAT-P-30 b je přibližně 370 kg/m<sup>3</sup>, což je sice asi 3,5x méně ve srovnání s Jupiterem. Pokud bychom zjištěnou hodnotu hustoty konfrontovali s jinými dosud objevenými horkými Jupitery, nejednalo by se o příliš netypický údaj. Okolo své mateřské hvězdy obíhá HAT-P-30 b ve vzdálenosti 0,042 AU s periodou 2,81 dní.

Jestli se HAT-P-30 b něčím vryje do paměti lovců exoplanet, pak je to její oběžná dráha. Teorie velí, že planeta by měla okolo své hvězdy obíhat přibližně v rovině, která je shodná s rovinou rovníku mateřské hvězdy. Tento předpoklad vychází z faktu, že hvězda i planeta vznikly s jednoho disku.

V poslední době jsme si však zvykli na objevy exoplanet, které toto pravidlo nerespektují a okolo svých sluncí obíhají pod velmi netradičním úhlem, který

---

mnohdy překračuje hodnotu 90°, což znamená, že se exoplaneta pohybuje v opačném směru (retrográdně), než by dle teorie měla.

Rovina oběžné dráhy HAT-P-30 b je nakloněna o  $73,5 \pm 9^\circ$ . Astronomové v této souvislosti zaujaly i parametry mateřské hvězdy. Ta má hmotnost a velikost asi o 20% větší ve srovnání se Sluncem. Povrchová teplota hvězdy se odhaduje na 6300 K.

V poslední době se objevují teorie, že exoplanety s netradičním sklonem roviny oběžné dráhy jsou typické především pro hvězdy s vyšší povrchovou teplotou (nad 6250 K). Přesné vysvětlení tohoto jevu zatím nemáme. Podle některých teorií by mohly být příčinou vzájemné interakce mezi hvězdou a planetou v době, kdy planeta migrovala směrem k hvězdě. Hmotné exoplanety jako Jupiter vznikají ve větších vzdálenostech od hvězdy a poté migrují směrem ke svému slunci. O přesné podobě následných vzájemných interakcí by mohla rozhodovat velikost konvektivní zóny hvězdy. Teplejší hvězdy mají tenčí konvektivní zónu a naopak.

Sklon oběžné dráhy HAT-P-30 b byl zjištěn pomocí Rossiterova-McLaughlinova efektu. Astronomové získávají spektrum mateřské hvězdy v okamžiku, kdy planeta přechází před svou hvězdou. V případě HAT-P-30 b trvá tranzit před hvězdou asi 2,1 hodin. Exoplaneta nejdříve zakryje tu část disku hvězdy, která se k nám vlivem rotace hvězdy přibližuje (na obrázku výše je značena modrou barvou) a poté tu část, která se od nás vzdaluje (červená). Pokud není úhel mezi rovinou rovníku a rovinou oběžné dráhy nulový, je křivka radiálních rychlostí deformovaná (viz obrázek).

### Zdroj:

<http://arxiv.org/abs/1103.3825>

## HAT-P-28 b

Mateřská hvězda je nepatrně větší a hmotnější ve srovnání se Sluncem a nachází se ve vzdálenosti 1300 světelných let od nás. Stáří hvězdy bylo odhadnuto na 4,8 až 8,7 miliard let. Exoplaneta HAT-P-28 b má hmotnosti asi 0,62 Jupiteru, ale poloměr 1,2x větší ve srovnání s obrem Sluneční soustavy. Na základě znalostí poloměru a hmotnosti nebylo těžké dopočítat hustotu, která se odhaduje na 440 kg/m<sup>3</sup>, což je téměř 3x méně ve srovnání s Jupiterem. HAT-P-28 b patří mezi typické „nafouklé“ horké Jupitery. Není se čemu divit, okolo své mateřské hvězdy obíhá s periodou 3,26 dní. Povrchová teplota se odhaduje na 1400 K.

---

## HAT-P-29 b

Mateřská hvězda je přibližně o 20% hmotnější a větší ve srovnání se Sluncem. Vyšší je také její povrchová teplota (6087 K). Na rozdíl od HAT-P-28 se jedná o poněkud mladší hvězdu s odhadovaným stářím 1,2 až 3,2 miliard let. Musíme však podotknout, že stáří hvězdy a tedy i planety se obvykle odhaduje jen velmi těžko.

Také okolo HAT-P-29 obíhá jeden z typických horkých Jupiterů s periodou 5,72 dní. Hmotnost planety se odhaduje na 0,78 Jupiteru, její poloměr je opět větší (1,1 Jupiteru). Hustota HAT-P-29 b bude přibližně  $710 \text{ kg/m}^3$ .

Parametry exoplanety jsou velmi podobné již dříve objevené tranzitující exoplanetě TrES-1 b. Pro srovnání: hmotnost 0,75 M<sub>J</sub>, poloměr 1,08 R<sub>J</sub>. Jen oběžná doba je v případě TrES-1b poněkud kratší (3,03 dní).

### Zdroje:

<http://arxiv.org/abs/1103.1813>

<http://www.sao.arizona.edu/FLWO/48/48.html>

## HD 22781 b: nová boubelatá exoplaneta s kometárními manýry

Do katalogu exoplanet přibyla nová členka. HD 22781 b má však hmotnost 14,2 Jupiterů, takže je na místě otázka, zda se jedná skutečně o planetu či hnědého trpaslíka. Objekt obíhá okolo své mateřské hvězdy s periodou 528 dní. Nejvíce překvapujícím údajem je nepochybně výstřednost, která činí 0,822! Podle teorií by přitom planety měly obíhat okolo svých hvězd po elipsách, které se jen nepatrně liší od kružnic. Taková slušná a poctivá planeta by měla mít výstřednost maximálně okolo 0,1. Realita exoplanetárních objevů je však poněkud jiná. Za výstřednými dráhami jsou patrně interakce s ostatními planetami. Rekordmanem je v tomto případě exoplaneta HD 20782 b, která má výstřednost 0,97! Novému přírůstku patří v současné době 5. příčka.

### Zdroj:

<http://media4.obspm.fr/exoplanets/base/planete.php?etoile=HD+22781&planete=b>

---

## WASP-39 b: další exoplanetární grilovačka?

Evropští astronomové prezentovali objev nové nafouklé exoplanety. Podobných úlovků v poslední době přibývá. Přestože z pohledu veřejnosti jsou atraktivnější debaty a výzkumy exoplanet zemského typu, jejich horké a nafouklé příbuzné jsou pro nás neocenitelným průvodcem po tajemstvích exoplanetární džungle. WASP-39 b byla objevena tranzitní metodou prostřednictvím slavného projektu SuperWASP. Potvrzení a zjištění hmotnosti si vzaly na starost spektrografy CORALIE a SOPHIE.

WASP-39 b má poloměr asi 1,27 Jupiteru ale hmotnost jen přibližně třetinovou ve srovnání s obrem Sluneční soustavy. Velikost i hmotnost exoplanet se často udává v násobcích Jupiteru. Logicky je tomu tak i v případě hustoty. WASP-39 b má dle odhadu hustotu jen 0,14  $\rho_J$ . Pro doplnění uvedme, že hustota Jupiteru je asi 1 326 kg/m<sup>3</sup>.

Se svou hustotou asi 185 kg/m<sup>3</sup> WASP-39 b sice oslní, ale v katalogích známe i daleko větší frajerky. Například exoplaneta WASP-17 b má hustotu jen 0,06  $\rho_J$ , což je asi 80 kg/m<sup>3</sup>. Podobně nízké hustoty se nedají příliš věrohodně vysvětlit ani „bez jádrovou“ teorií. Obecně se totiž předpokládá, že obří plynné planety vznikly postupnou akrecí v disku a to prostřednictvím dvou základních fází. Nejdříve vzniklo kamenné jádro, které po překročení hmotnosti asi 10 Zemí mělo dostatečně velkou gravitaci na to, aby ze svého okolí vysálo lehké prvky (vodík a helium). Planety jako Jupiter a Saturn tedy mají ve svém nitru kamenné jádro, které obklopuje velmi hustá atmosféra.

Někteří jejich kolegové mimo Sluneční soustavu však mohli první fázi přeskočit. Planeta mohla vzniknout zhroucením plynu bez přítomnosti kamenného jádra.

Vraťme se ale ještě zpět k WASP-39 b. Planeta obíhá okolo hvězdy spektrální třídy G, která je nepatrně menší ve srovnání se Sluncem. Hvězdu nalezneme v souhvězdí Panny. Tranzit exoplanety před hvězdou trvá necelé tři hodiny. Oběžná doba WASP-39 b je pak rovna přibližně 4 dnům. Povrchová teplota WASP-39 b se odhaduje na 1100 K.

Pro zajímavost uvádíme příklady exoplanet s nejnižší známou hustotou.

Je uvedena hmotnost ( $M_J$ ), poloměr ( $R_J$ ) a hustota ( $\rho_J$ ) v násobcích Jupiteru.

WASP-17 b: 0,486  $M_J$  / 1,99  $R_J$  / 0,06  $\rho_J$

WASP-31 b: 0,478  $M_J$  / 1,54  $R_J$  / 0,13  $\rho_J$

Kepler-7 b: 0,433  $M_J$  / 1,47  $R_J$  / 0,13  $\rho_J$

### Zdroj:

<http://arxiv.org/abs/1102.1375>

---

## Další pekelná super-Země?

Xavier Bonfils a jeho mezinárodní tým představil novou exoplanetu. GJ 3634 b si už v odborných a popularizačních análech vysloužila označení „horká super-Země“. Realita je však taková, že o novém přírůstku vlastně moc nevíme.

I když má odborný článek nějakých osm stran, GJ 3634 b je pro nás spíše velkou neznámou. Planeta totiž zřejmě nevykonává tranzity, takže její poloměr nezjistíme. Hmotnost exoplanet můžeme spíše hrubě odhadnout a tak nemá příliš velký smysl vynášet soudy nad složením tělesa. Hmotnost GJ 3634 b byla odhadnuta na přibližně 7 až 8,5 Země. Nelze však říci, zda se jedná o planetu s kamenným povrchem nebo spíše s hustou atmosférou a la Neptun.

GJ 3634 b obíhá okolo svého slunce ve vzdálenosti jen 0,0287 AU s periodou 2,64 dní. Mateřskou hvězdou je v tomto případě červený trpaslík o hmotnosti a velikosti asi poloviny Slunce, který nalezneme ve vzdálenosti 65 světelných let směrem v souhvězdí Hydry.

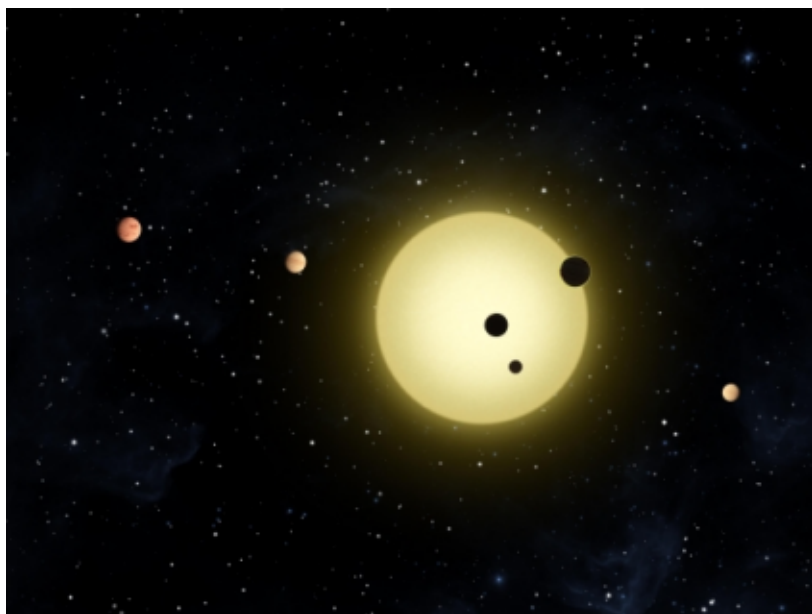
Exoplaneta byla objevena metodou měření radiálních rychlostí evropským spektrografem HARPS. Tým dával z počátku určitou naději, že by GJ 3634 b mohla z našeho pohledu před svou hvězdou přecházet. Pokud by tomu tak bylo, neměli by pozemští lovci světelných křivek příliš velkou šanci. Astronomové se proto obrátili na kosmický dalekohled Spitzer. Infračervený teleskop pozoroval hvězdu během léta 2010, avšak žádné tranzity nalezeny nebyly.

### Zdroj:

<http://arxiv.org/abs/1102.1420>

## Kepler-11

Astronomové již dříve objevili multiplanetární systémy – tedy případy, kdy okolo hvězdy obíhá více než jedna planeta. Dokonce byly objeveny hvězdy s početnějšími rodinami. Známým je příklad hvězdy 55 Cnc s pěti exoplanetami. V loňském roce byl oznámen objev dokonce šesti planet u hvězdy HD 10180.

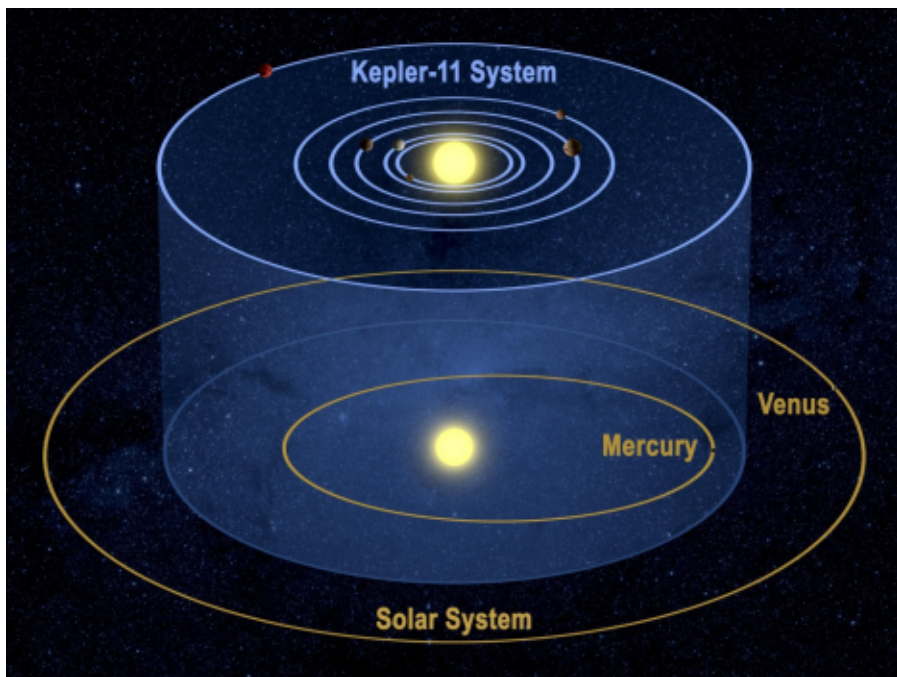


**Obr.23** Planetární systém u hvězdy Kepler-11 v představách malíře.

Tým Keplera přidal na počátku února do katalogu další hvězdu s šesti planetárními průvodci. Význam je však o to významnější, že všechny planety tranzitují (přechází před diskem své hvězdy), takže kromě hmotnosti známe i jejich velikost.

Exoplaneta	Kepler-11 b	Kepler-11 c	Kepler-11 d	Kepler-11 e	Kepler-11 f	Kepler-11 g
Hmotnost	4,3 Mz	13,5	6,1 Mz	8,4 Mz	2,3 Mz	< 1 Mj
Poloměr	1,97 Rz	3,15 Rz	3,43 Rz	4,52 Rz	2,61 Rz	3,66 Rz
Oběžná doba	10,3 dní	13 dní	22,7 dní	31,99 dní	46,7 dní	188,37 dní
Velká poloosa (AU)	0,091	0,106	0,159	0,194	0,25	0,462
Povrchová teplota (Kelviny)	900	833	692	617	544	400

**Tabulka 3** Planetární systém Kepler-11



**Obr. 24** Srovnání Sluneční soustavy a planetárního systému u hvězdy Kepler-11.  
Credit: NASA

Mateřskou hvězdu Kepler-11 najdeme ve vzdálenosti 2000 světelných let. Jedná se o hvězdu o velikosti a hmotnosti Slunce. Jen její planetární rodinka není zrovna podobná naší Sluneční soustavě. Pět ze šesti planet obíhá okolo své hvězdy blíže, než obíhá Merkur okolo Slunce. Blízkost pěti ze šesti planet byla náležitě využita. Tým okolo Keplera si vzal na pomoc časování tranzitů. Pět planet se navzájem gravitačně ovlivňuje takovým způsobem, že se to promítá do odchylek jejich tranzitů. K přechodům exoplanet před hvězdou nedochází v pravidelných intervalech, ale s určitými odchylkami v řádu 10 až 20 minut. Na základě těchto odchylek byl tým kosmického dalekohledu schopen vypočítat hmotnost planet.

#### Zdroj:

<http://kepler.nasa.gov/Mission/discoveries/>

---

## Situace na trhu

Metoda	Exoplanety	Planetární systémy	Multiplanetární systémy
Měření radiálních rychlostí a astrometrie	496	416	49
Tranzitní fotometrie	128	121	10
Mikročochky	12	11	1
Pulsary	12	7	4
Přímé zobrazení	24	21	1

**Tabulka 4** Počty exoplanet detekované jednotlivými metodami k 30. březnu 2011

**Celkový počet známých exoplanet k 31. březnu 2011: 544**

Za uplynulé 3 měsíce přibylo 28 nových exoplanet.

**Poznámka:** Tabulka udává počty detekovaných exoplanet jednotlivými metodami. Jedna exoplaneta může být postupně detekována dvěma a více metodami, např. všechny exoplanety, objevené metodou tranzitní fotometrie byly pozorovány také metodou měření radiálních rychlostí. Kombinací metod se o exoplanetě zjistí více informací.

**Zdroj:** <http://www.exoplanet.eu/catalog.php>



