

# Dynamika exoplanet

Miloš Šidlichovský

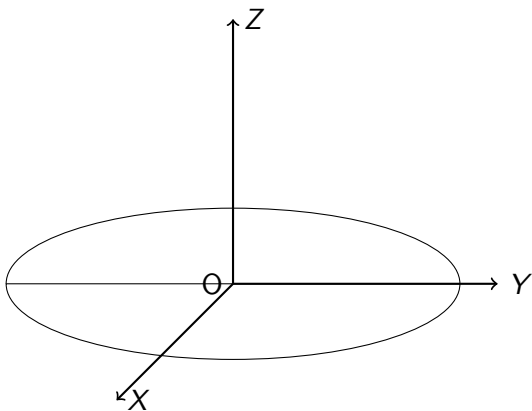
Astronomický ústav, AV ČR, v.v.i. Praha

24.říjen 2009

## Elementy dráhy planety

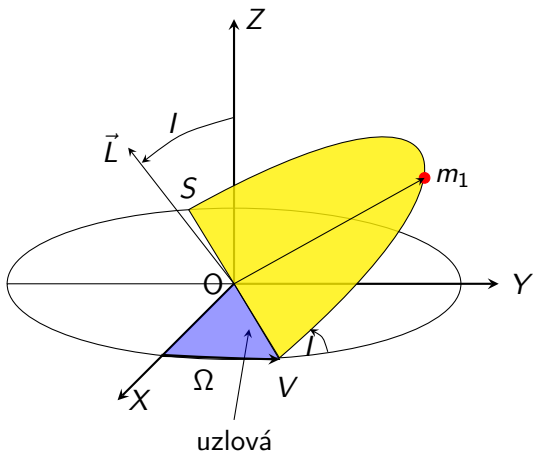
O - v těžišti centrální hvězdy o hmotnosti  $m_0$

základní rovina - kolmá na směr pozorování, pozorování ze záporného směru osy  $Z$  (zespodu)



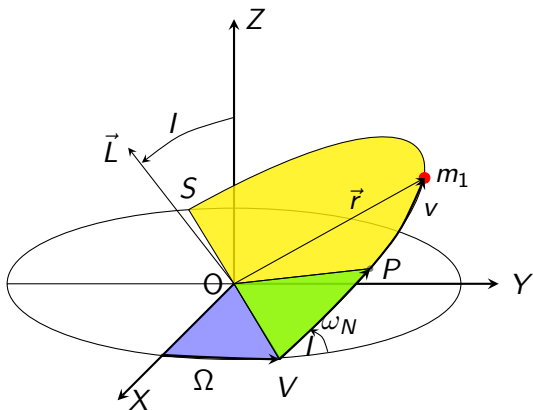
## Elementy dráhy planety

O - v těžišti centrální hvězdy o hmotnosti  $m_0$   
základní rovina - kolmá na směr pozorování, pozorování ze záporného směru osy Z (zespodu)



## Elementy dráhy planety

O - v těžišti centrální hvězdy o hmotnosti  $m_0$   
základní rovina - kolmá na směr pozorování, pozorování ze  
záporného směru osy Z (zespodu)



## Elementy dráhy - $\Omega$ , $I$ , $\omega$

Poloha roviny dráhy je určena elementy:

1.  $\Omega$  délka výstupného uzlu,
2.  $I$  sklon dráhy

Natočení pericentra elipsy vzhledem k uzlové přímce určuje

- $\omega_N$  argument pericentra.

Index  $N$  zde označuje, že takto se zavádí argument pericentra v NEBESKÉ MECHANICE (družice, planety SS, satelity planet), v dynamice exoplanet se zavádí argument periastra  $\omega = \omega_N + 180^\circ$ , tj. odečítá se od té uzlové polopřímky, při jejímž průchodu se planeta blíží k Zemi.

3.  $\omega$  úhel (argument) periastra
- $u$  pravá anomálie

## anomalie: střední, excentrická, pravá

pravá anomálie  $v$   
excentrická anomálie  $u$   
střední anomálie  $M$

## Elementy dráhy - $a, e, M$

Základní rovnice pro pohyb relativního vektoru  $\vec{r} = \vec{r}_1 - \vec{r}_0$ .

$\vec{r} = x\vec{P} + y\vec{Q}$ ,  $r = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos v}$ .  $\vec{P}$  je jednotkový vektor ve směru periastra,  $\vec{Q}$  leží v rovině oběhu a je pootočen o  $90^\circ$  ve směru pohybu.

$$x = r \cos v = a(\cos u - e), \quad \Rightarrow \quad r = a(1 - e \cos u),$$

$$y = r \sin v = \sqrt{1 - e^2} \sin u, \quad \tan \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \tan \frac{u}{2}.$$

$u - e \sin u = n(t - t_0) = M$ , Keplerova rovnice, zde  $n = \frac{2\pi}{P}$ ,  $P$  je perioda

$n^2 a^3 = G(m_0 + m_1)$ , 3. Keplerův zákon ( $G$  gravitační konstanta  $6.67259 \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ )

4.  $a$  velká poloosa dráhy,
5.  $e$  excentricita,
6.  $M$  střední anomálie.

$\Omega, I, \omega, a, e, M$  – 6 elementů dráhy,  $a, e$  určují tvar dráhy,  $M$  polohu  $\vec{r}$  na dráze

## Radiální rychlost hvězdy

Známe-li elementy dráhy, potom radiální rychlost hvězdy  $V_r$  (průmět její rychlosti do směru spojnice pozorovatel - těžiště systému hvězda planeta) je:

$$V_r = V_{rt} + K [\cos(v + \omega) + e \cos \omega], \quad (1)$$

kde

$$K = \frac{m_1 \sin i}{M} \frac{2\pi a}{P\sqrt{1-e^2}}. \quad (2)$$

$M = m_0 + m_1$  je celková hmotnost soustavy a  $V_{rt}$  je radiální rychlost těžiště systému (konstanta na relevantní časové škále).  
Nezávislost na  $\Omega$ . Nepoznáme  $i = 90^\circ$ ,  $m_1 = M_J$  a  
 $i = 30^\circ$ ,  $m_1 = 2M_J$ .



## Odvození vzorců (1) a (2) pro zájemce, str.1

Buďte  $\vec{X}$ ,  $\vec{Y}$ ,  $\vec{Z}$  jednotkové vektory ve směrech os  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Tyto vektory končí na jednotkové sféře v bodech, které též označíme  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Podobně vektory  $\vec{P}$ ,  $\vec{Q}$  vedou do bodů  $P$ ,  $Q$  na jednotkové sféře.

$$\dot{V}_r = V_{rt} + (\dot{r}_0 \vec{Z}),$$

$$\dot{\vec{r}}_0 = -\frac{m_1}{m_0+m_1}(\dot{x}\vec{P} + \dot{y}\vec{Q})$$

Derivací vyjádření  $x, y$  pomocí excentrické anomálie dostaneme

$$\dot{x} = -a\dot{u} \sin u, \quad \dot{y} = a\dot{u} \sqrt{1-e^2} \cos u.$$

Pro  $\dot{u}$  dostaneme derivací Keplerovy rovnice

$$\dot{u} = \frac{2\pi}{P(1-e \cos u)}.$$

Po vyloučení excentrické anomálie ze vztahů pro  $x$  a  $y$  přejdeme k vyjádření  $\dot{x}$  a  $\dot{y}$  pomocí pravé anomálie

$$\dot{x} = -\frac{2\pi a \sin v}{P\sqrt{1-e^2}}, \quad \dot{y} = \frac{2\pi a}{P\sqrt{1-e^2}}(e + \cos v).$$

## Odvození vzorců (1) a (2) pro zájemce, str.2

Jestliže na prvním obrázku této prezentace vedeme hlavní kružnici body  $ZP$  a ta protne rovinu  $XY$  v bodě  $P'$ , potom sférická sinova věta pro trojúhelník  $PVP'$  umožní určit

$$\vec{P} \cdot \vec{Z} = \cos \angle POZ = \sin \angle POP' = \sin \omega_N \sin I = -\sin \omega \sin I$$

a obdobně

$$\vec{Q} \cdot \vec{Z} = \cos \angle QOZ = \sin \angle QOQ' = \sin (\omega_N + 90^\circ) \sin I = -\cos \omega \sin I.$$

Tedy

$$\dot{\vec{r}}_0 = \frac{m_1}{(m_0+m_1)} \frac{2\pi a}{P\sqrt{1-e^2}} \left[ \sin v \vec{P} - (e + \cos v) \vec{Q} \right],$$

$$\dot{\vec{r}}_0 \cdot \vec{Z} = \frac{m_1 \sin I}{(m_0+m_1)} \frac{2\pi a}{P\sqrt{1-e^2}} [-\sin v \sin \omega + \cos \omega \cos v + e \cos \omega].$$

Konečně tedy

$$V_r = V_{rt} + \dot{\vec{r}}_0 \cdot \vec{Z} = V_{rt} + \frac{m_1 \sin I}{(m_0+m_1)} \frac{2\pi a}{P\sqrt{1-e^2}} [\cos (v + \omega) + e \cos \omega],$$

což jsme chtěli dokázat.

## Zobecnění na systém dvou a více planet

V systému hvězda + 2 planety, jehož počátek je v těžišti, platí

$$m_0 \vec{r}_0 + m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 = \vec{0},$$

tedy

$$(m_0 + m_1 + m_2) \vec{r}_0 + m_1 (\vec{r}_1 - \vec{r}_0) + m_2 (\vec{r}_2 - \vec{r}_0) = \vec{0},$$

Označíme-li celkovou hmotnost systému opět  $\mathbf{M} = m_0 + m_1 + m_2$  a zavedeme relativní vektory i-té planety vzhledem ke hvězdě

$$r(\vec{1}) = \vec{r}_1 - \vec{r}_0, r(\vec{2}) = \vec{r}_2 - \vec{r}_0, \text{ dostaneme } \dot{\vec{r}}_0 = -\frac{m_1}{\mathbf{M}} \dot{r}(\vec{1}) - \frac{m_2}{\mathbf{M}} \dot{r}(\vec{2})$$

Vzorec (1) pro radiální rychlost bude tak zobecněna na

$$V_r = V_{rt} + \sum_{j=1}^2 K_j [\cos(v_j + \omega_j) + e_j \cos \omega_j], \quad (3)$$

$$K_j = \frac{m_j \sin I_j}{\mathbf{M}} \frac{2\pi a_j}{P_j \sqrt{1 - e_j^2}}. \quad (4)$$

Pro  $n$  planet se ve vzorcích pro  $V_r$  i pro  $\mathbf{M}$  sčítá do  $n$ .

## $K$ pro planety sluneční soustavy

$$K = \frac{m \sin I}{M} \frac{2\pi a}{P\sqrt{1-e^2}}$$

Pro půlamplitudu  $K$  radiální rychlosti Slunce způsobenou samotným Jupiterem, dostáváme (při  $I = 90^\circ$ )

$K_{\text{Jup}} \sim 12.5$  m/s, podobně

$K_{\text{Sat}} \sim 2.8$  m/s, a

$K_{\text{Zem}} \sim 9$  cm/s.

V současné době se přesnost měření RV dostává pod 1 m/s.

## Měření RV

Měření radiální rychlosti hvězdy se provádí určováním posuvu spektrálních čar způsobeného Dopplerovým jevem. V praxi máme měření RV (radial velocity)  $V_r$  v časech  $t_1, t_2, t_3, \dots$ , označíme je  $V_1, V_2, V_3, \dots$ , kde  $V_j = V_r(t_j)$ . V RV měřeních bývá ještě třetí sloupec, chyba měření  $\sigma_j$ .

Pro jednoduchost předpokládejme nejprve model s 1 planetou.

Publikovaná měření redukována na rychlosti oběhu Země, rotace Země a vlastní pohyb (zbývající  $V_{rt}$  je jen offset).

Dále předpokládáme, že známe hmotnost hvězdy z kvalitních modelů. Vezměme hrubý odhad periody  $P$  planety např. z periodogramu získaného Lombovou-Scargleho metodou (popsána i v Numerical Recipes). Pak lze hrubě odhadnout i  $m \sin I$ , aby půlamplituda  $K$  nabývala zhruba pozorované velikosti. Pro každou šestici hodnot  $p_1 = P, p_2 = M \sin I, p_3 = e, p_4 = \omega, p_5 = V_{rt}, p_6 = M(t_1)$  lze pak určit podle vzorce (1) pro každý čas  $t_j$  modelovou radiální rychlost  $V_r(t_j, p) = V_r(t_j; p_1, p_2, \dots, p_6)$ .

Naší úlohou je určit parametry  $p_j$  tak, aby se body  $V_r(t_j, p)$  co nejvíce přimykaly k pozorovaným bodům  $V_j$ .

1. možnost – Metoda nejmenších čtverců  
nebere v úvahu chyby (body měřené s velkou chybou ovlivní parametry stejně, jako body měřené s malou chybou).

2.  $\chi^2$  statistika je lepší. Minimalizuje

$$\chi^2 = \frac{1}{N - M} \sum_{j=1}^N \left[ \frac{V_j - V_r(t_j, p)}{\sigma_j} \right]^2,$$

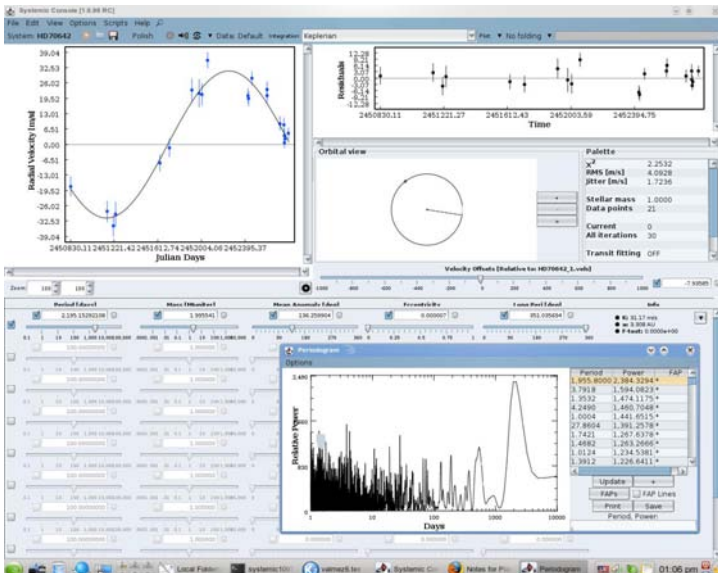
kde  $N$  je počet měření a  $M$  je počet určovaných parametrů. Pro všechna  $\sigma_j$  totožná dává stejný výsledek jako metoda nejmenších čtverců.

## Console Systemic, <http://oklo.org>

Úlohu určení elementů dráhy z RV pozorování řeší dostupný program Console.jar (programováno v Javě). (na weblogu Grega Laughlina). Autoři programu jsou Meschiari, Wolf, Rivera, Laughlin, Vogt, Butler. Součástí je databáze RV měření (některá dexterizována :-). Umí

- Lombův-Scargleho periodogram
- $\chi^2$  minimalizaci pomocí tzv. Levenbergova-Marquardtova algoritmu (ten je opět v Numerical Recipes) a to i pro více planet
- periodogram reziduí
- řeší i situaci, kdy se planety ovlivňují natolik, že nelze užít aproximace Keplerovou elipsou
- umí určit okamžik tranzitu planety přes hvězdu

# Console Systemic, <http://oklo.org>



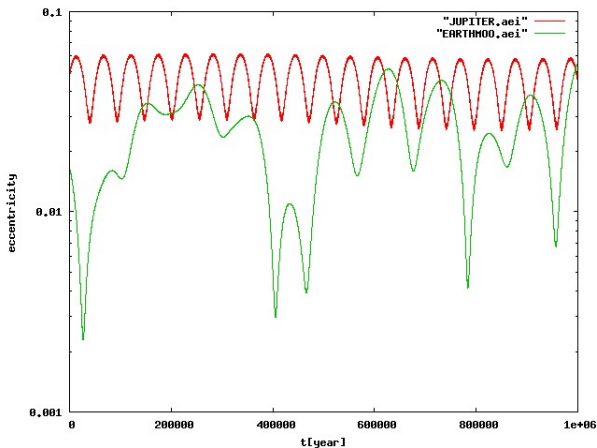


## Console Systemic, <http://oklo.org>

- Spouštění programu: `java -jar Console.jar`
- Na počítači musíte mít program java (interpreter jazyka Java)
- Ukázka práce s programem pro HD 70642

## Sekulární vývoj

V současnosti známe asi 40 systémů s více než jednou planetou. Planety interagují. Např. i ve sluneční soustavě - pomalé změny.



## Vliv interakce planet na určování elementů dráhy

- Krátkoperiodické změny mohou ovlivnit fit. Program Console.jar umí provést fit nejen pomocí konstantní Keplerovy elipsy, ale i pomocí numerické integrace. Výsledkem jsou elementy elipsy v okamžiku prvního měření RV. Výpočet trvá výrazně déle.
- Sekulární změny jsou pomalé (periody v desítkách tisíc let). Pokud není interakce silná, lze na škálách desítek let použít fit konstantní Keplerovou elipsou. Ale POZOR, stabilitu dráhy je třeba určovat integrací po dobu sekulární periody. Viz HD 12261.
- Program MERCURY (ve Fortranu) umožňuje rychlý výpočet vyvoje elementů dráhy s časem (<http://star.arm.ac.uk/jec/home.html>). Autorem je John. E. Chambers. Uživatel mění jen param.in (meze integrace, krok, hustota výstupu, hmotnost hvězdy) a big.in (počáteční elementy planet), případně element.in (elementy na výstupu a jejich formát)

## Příklad HD 12661

Elementy jsou z katalogu

Buttler R. P., Wright J. T., Marcy, G. W., Fischer D. A., Vogt S. S., Tinney C. G., Jones H. R. A., Carter B. D., Johnson J. A., McCarthy C. and Penny A. J.: 2006, *Catalog of Nearby Exoplanets*, *Astrophys. J.* **646**, 505-522.

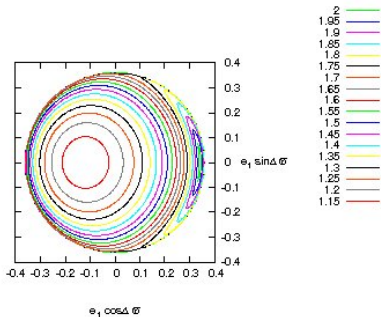
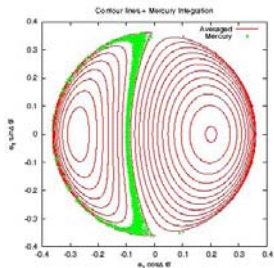
System	$M[M_{\odot}]$	$M_P \sin I[M_J]$	$P[d]$	$a[AU]$	$e$	$\varpi$
HD 12661	1.11	2.34	262.53	0.83	0.361	116.3
		1.83	1679	2.86	0.017	218.0

Tento katalog na síti: <http://exoplanets.org>

Lepší (Jean Schneider stálá aktualizace): <http://exoplanet.eu>

# Minimální vzdálenost

Minimal Distance for hd1 2661



Sekulární perioda pro HD 12661 je 27 500 let.

## TTV - Transit Time Variations

Když jediná planeta  $\Rightarrow$  strojová pravidelnost tranzitů

Komplikovaná inverzní úloha: nepravidelnost  $\Rightarrow$  hmotnost a  
elementy rušící planety

- Eric Algol, Jason Steffen, Re'em Sari, Will Clarkson  
On detecting terrestrial planets with timing of giant planet  
transit, 2005, Mon. Not. R. Astron. Soc., **359**, 567-579.
- Matthew J. Holman, Norman W. Murray  
The use of transit timing to detect extrasolar planets with  
masses as small as Earth, 2005, Science, **307**, 1288.
- David Nesvorný, Alessandro Morbidelli  
Mass and orbit determination from transit timing variations of  
exoplanets, 2008, ApJ., **688**, 636.

# TTV

Potřebujeme:

- krátké periody rušené planety (např. horký Jupiter)
- rušící planeta  $\sim M_J$ , pak většinou stačí RV
- je-li hmotnost rušící planety malá, pak buď
  - musí být blízko k rušené planetě
  - nebo musí jít o rezonanční systém

Aby šlo použít TTV metodu, potřebujeme husté měření tranzitů.

**Obrovská role pozorování amatérů**  $\Rightarrow$  potřeba databází

<http://brucegary.net/AXA/x.htm> (Bruce L. Gary)

<http://var2.astro.cz/ETD> (S. Poddaný, L. Brát, O. Pejcha)

## Některé dynamicky zajímavé systémy

- Nejjednodušší a nejlacinější postup: <http://exoplanet.eu> a extrémální hodnoty  $M \sin I$ ,  $a$  resp.  $P$ ,  $e$ .
- Sofistikovanější přístup: Zóna života, rezonance planet, tranzit v multiplanetárním systému, výrazná interakce a podobně.

Často první jednoduchý postup přivede k týmž systémům, na které vede postup druhý. Např. planeta s nejmenší hmotností je GL 581 e. Ta souvisí s první objevenou planetou v zóně života GL 581 d.



## GI 581

$M_* = 0.31M_{\odot}$ ,  $R_* = 0.33R_{\odot}$ , M-trpaslík,  $T_{\text{eff}} = 3310 \pm 100K$

Planeta	$M_P \sin I [M_J]$	$P[d]$	$a[AU]$	$e$	$\omega$
GI 581 b	0.0492	5.36874	0.041	0.	-
GI 581 c	0.01686	12.9292	0.07	0.17	-110.
GI 581 d	0.02231	66.8	0.22	0.38	-33.
GI 581 e	0.006104	3.14942	0.03	0.	-

$M_J \sim 317.8M_{\oplus} \Rightarrow$

Minimální

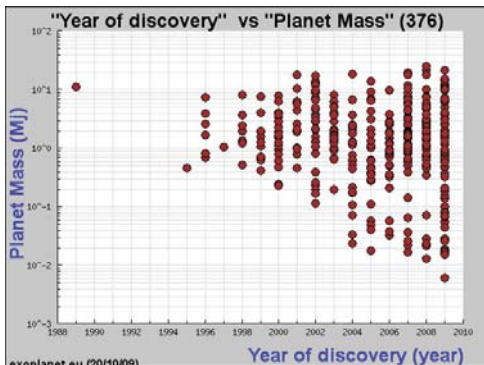
$M_b \sim 15.6M_{\oplus}$ ,  $M_c \sim 5.4M_{\oplus}$ ,  $M_d \sim 7.1M_{\oplus}$ ,  $M_e \sim 1.9M_{\oplus}$ ,

Zóna života 0.111 – 0.216AU <http://nsted.ipac.caltech.edu> (klik na Planetary Properties). Zde ovšem předpoklad  $M_* = 0.26M_{\odot}$ .

Posun na 0.31 posune i zónu života.

## Gl 581

Objev Gl 581 e v dubnu 2009 (Mayor et al.) způsobil i změnu periody Gl 581 d z 84 dní na 67 dní (tj. i posun do obyvatelné zóny).  $K = 1.85 m/s$ . Úžasná přesnost. Nová pozorování RV vakuovým spektrografem HARPS (na 3.6 m dalekohledu ESO na La Silla observatoři).



## Tři poznámky:

- Obrázek jsem vytvořil on-line na [exoplanet.eu](http://exoplanet.eu). Tak tam lze okamžitě vytvářet všechny možné korelační diagramy. Objev z r.1989 je HD 114762 b (LATHAM D. W., STEFANIK R. P., MAZEH T., MAYOR M., BURKI, G. The unseen companion of HD114762 - A probable brown dwarf, 1989 Nature, **339**, 38).  $M \sin I = 11,02M_J \Rightarrow$  proto je v seznamu.
- Je zajímavé, že perioda 3.15 byla vidět i na původních datech. Konzole na [oklo.org](http://oklo.org) (periodogram reziduí po odstranění 88 denní exoplanety).
- **Otázka:** Nakolik lze věřit přidání málo hmotné planety, která o něco vylepší  $\chi^2$ . Příklad HD 17156 b, tranzit objeven a potvrzen 10.9. a 1.10. 2008 ( $P \sim 21d, 3,2M_J, e = 0.67$ ). Short et al. hlásí HD 17156 c ( $0.063M_J, P = 111d$ ), je v katalogu dodnes jako nepotvrzena. Zde pomáhá F-test.

## F-test

F-test testuje pravděpodobnost nulové hypotézy (tj., že přidaná nová planeta je falešný alarm). Srovnává variance reziduí a ze známého teoretického rozdělení jejich poměru  $F$  při platnosti nulové hypotézy určuje tuto pravděpodobnost. Statistický základ F-testu a program je v knize Numerical Recipes.

Program Console.jar umí pomocí F-testu určit pravděpodobnost toho, že přidaná planeta je falešná. Příklad pro HD 70642 c. Zde pravděpodobnost falešné planety je 32%. Potřebujeme rozhodně pod 5%, spíše pod 2%, abychom mohli novou planetu brát vážně (k publikaci např.). U HD 17156 c dává F-test dokonce 38%. Přesto lze např. považovat planetu za hypotézu, určit dobu tranzitu a snažit se ho nalézt. V dubnu 2007 objevil švýcarský tým HD581 c (opět HARPS). V programu Systemic v té době 6 fitů s podobnou planetou (F-test  $\sim$  25%).

Elementy  
○○○○

RV  
○○  
○○  
○○  
○

Elementy z RV  
○○  
○○○

Interakce  
○○○○

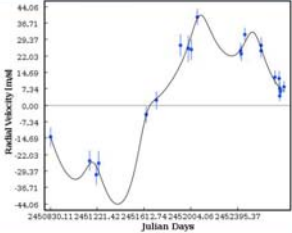
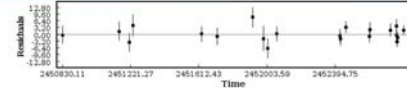
Časová TTV  
○○

Zajímavé systémy  
○○○○○●  
○  
○○○○


Systemic Console [1.8.8 RC]

File Edit View Options Scripts Help

System: HD70642    Polish    Data: Default    Integration: Keplerian    Psa    Tia folding

Orbital view



Velocity offsets [Relative to HD70642\_1\_vels]

Palette

- $\chi^2$  1.4754
- RMS [m/s] 3.1428
- Jitter [m/s]
- Stellar mass 1.0000
- Data points 22
- Current 0
- All iterations 0
- Transit fitting OFF

Zoom: 150 150

Radial Element	Mass Element	Semi-Axis Element	Eccentricity	Time of Transit	Info
2.538 76057172	2.297269	248 810496	0.021876	243 797263	● 10 24.33 hrs ● 10 3.95 AU ● 10 0.0000e+00
445 37483275	0.301293	77 888290	0.000000		

**F-Test Module**

How to use F-Test Module:

This module can be used to determine if the difference between two fits is significant. You must open two saved fits to the same data set. (The data sets must have the same name.) The module will not work if the data sets for the two fits are different. The module calculates the RMS of each fit, and performs the F-test as implemented in *Journal of Papers* using the distributions of the residuals of the fits as inputs. A returned value near 3.0 indicates that the two distributions are statistically the same. In fact, this indicates that the two fits are not statistically different. (Note that if the two RMS values are nearly the same, in general the two fits are not statistically different.) Additionally, given the returned F-test value and the number of data points in each fit, the module calculates the probability that the F-test value is the observed return value assuming that the two fits are statistically the same. Thus, a probability near 1.0 indicates that the two fits are not significantly different. This module can be used to determine if two fits with different eccentricities or a different number of planets are statistically different. It can be particularly useful in determining whether the addition of one additional (small) planet is statistically significant. Note that if a fit has more than one planet, it will be integrated by default using 4th-order Hermite. Users can change this default behavior by changing the integration method.

Integration Method: Hermite 4th order

Name1: HD70642    Name2: HD70642

nPlanets1: 1    nPlanets2: 2

RMS1: 3.9008    RMS2: 3.1401

Result: 1.5477    Probability: 0.3245

RESET

Systemic Console [1.8.8 RC]    Local File    system:    Notes for    vstnet1:    system:    System:    F-Test M...    12:02 pm

## HD 60532

Příklad systému v rezonanci:  $P_c : P_b \sim 607d : 202d \sim 3 : 1$

Zachycení v rezonancích je možné jako důsledek migrace Např.

- **2:1:** HD 82943, Gl 876, HD 128311, 47 Uma
- **3:2:** HD 45364
- **3:1:** HD 60532

HD 60532 je zajímavý hlavně proto, že se tu podařilo sejmout  $M \sin I$  degeneraci.

Laskar J., Correia A. C. M.: 2009, A&A, **496**, L5.

Pokud planety interagují zanedbatelně, dostaneme stejné RV pro  $I = 90^\circ$  a  $M_b, M_c$  jako pro  $I = 20^\circ$  a hmotnosti  $M_b / \sin I, M_c / \sin I$  (tedy  $\sim 2.92$ -krát zvětšené). Když planety interagují nelze používat Keplerových elips, ale pro fit musíme integrovat. Při  $I = 20^\circ$  se systém pohybuje jinak (větší hmotnosti, výraznější interakce).

Parametr  $I$  lze tak též fitovat. Pro HD 60532 je  $I = 20^\circ$ .

## HD80606

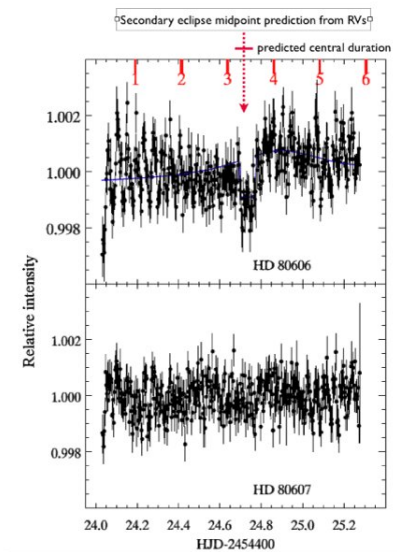
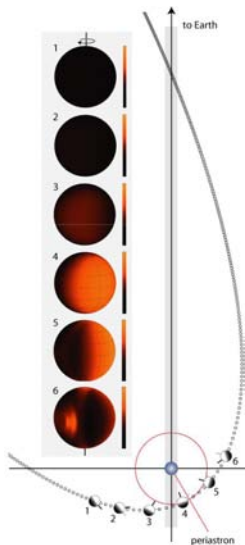
Planeta HD 80606 b objevena v r.2001. Byla planetou s největší známou excentricitou  $e = 0.93366$ . Dnes na třetím místě za HD 20782 b ( $e = 0.97$ ) a VB 10 b (zde může být až  $e = 0.98$ ). Hvězda VB 10 je typu M8V (hmotnost  $0.0779M_{\odot}$ ).

Dramatický vývoj. Od r.2001 z RV známa dráha ( $P \sim 111d$ ). 20.listopadu 2007 pozorování dalekohledem Spitzer na  $8\mu$ . Doba pozorování (30 hodin) pokrývala svrchní konjunkci i průchod periastrum. Byl pozorován zákryt, ač pravděpodobnost byla jen 15%.

**Dříve pozorován zákryt než tranzit.**

Nebylo ani zřejmé, zda k tranzitu dochází.

# Obrázky převzaty z oklo.org od G. Laughlina.





- Pozorování zákrytu ze Spitzerova teleskopu (Gregory Laughlin, Drake Deming, Jonathan Langton, Daniel Kasen, Steve Vogt, Paul Butler, Eugenio Rivera, Stefano Meschiari) vyšlo v lednovém čísle Nature 2009.
- Horečka před nejbližším možným tranzitem 14.2.2009.
- 14.2.09 Chorvatsko, Finsko špatné podmínky, zdá se že nikdo přechod nepozoroval.
- 23.2., 25.2., 26.2. předány k publikaci tři nezávislé práce s pozorováním tranzitu.

Confidential: not for distribution. Submitted to the American Astronomical Society for peer review 2009 February 23

Submitted for publication in the Astrophysical Journal

### Unconfirmed Detection of a Transit of HD 80606b

E. Garcia-Melendo<sup>1</sup> & P. R. McCullough<sup>2</sup>

egarcia@foed.org

XX

Astronomy & Astrophysics manuscript no. hd80606 v6 © ESO 2009  
February 25, 2009

LETTER TO THE EDITOR

### Photometric and spectroscopic detection of the primary transit of the 111-day-period planet HD 80606 b\*

Moutou, C.<sup>1</sup>, Hébrard, G.<sup>2</sup>, Bouchy, F.<sup>2,3</sup>, Eggenberger, A.<sup>4</sup>, Boisse, I.<sup>2</sup>, Bonfils, X.<sup>4</sup>, Gravallon, D.<sup>3</sup>, Ehrenreich, D.<sup>4</sup>, Forveille, T.<sup>4</sup>, Delfosse, X.<sup>4</sup>, Desort, M.<sup>4</sup>, Lagrange, A.-M.<sup>4</sup>, Lovis, C.<sup>5</sup>, Mayor, M.<sup>3</sup>, Pepe, F.<sup>3</sup>, Perrier, C.<sup>4</sup>, Pont, F.<sup>6</sup>, Queloz, D.<sup>3</sup>, Santos, N.C.<sup>7</sup>, Ségransan, D.<sup>3</sup>, Udry, S.<sup>3</sup>, and Vidal-Madjar, A.<sup>2</sup>

XX

Mon. Not. R. Astron. Soc. **000**, 1–5 (2009) Printed 26 February 2009 (M.N. <sup>191</sup>) (X style file v2.2)

### Detection of a transit by the planetary companion of HD 80606

Stephen J. Fossey<sup>1\*\*</sup>, Ingo P. Waldmann<sup>1</sup> & David M. Kipping<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics and Astronomy, University College London, Gower Street, London WC1E 6BT, UK