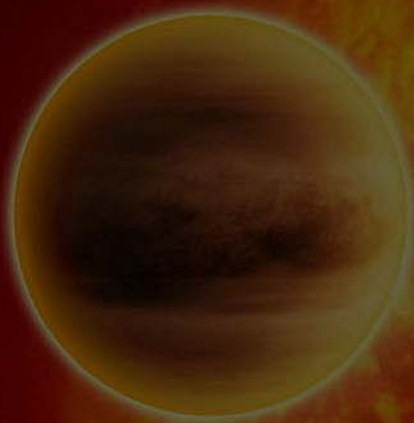


Tranzity exoplanet

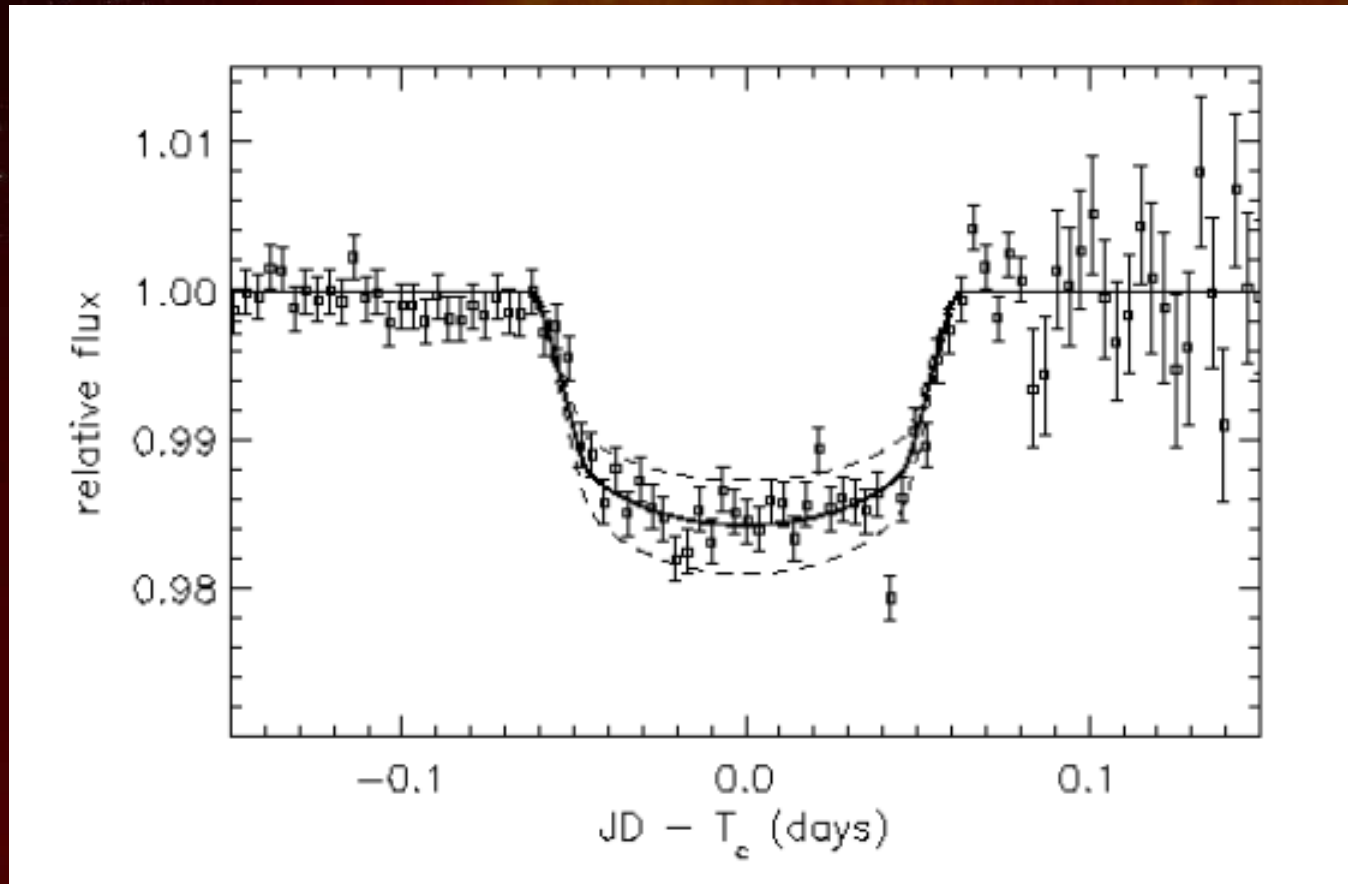


Bc. Luboš Brát

O čem bude řeč:

- Tranzit exoplanety a jeho parametry
- Co nám tranzity umožňují zjišťovat
 - Určování geometrie soustavy hvězda – planeta
 - Hledání dalších planet v systému
 - Sklon orbity (Rossiter-McLaughlinův efekt)
- Pozorování tranzitů v praxi
- Pokročilá práce s křivkou tranzitu
- Zajímavá pozorování tranzitů u nás

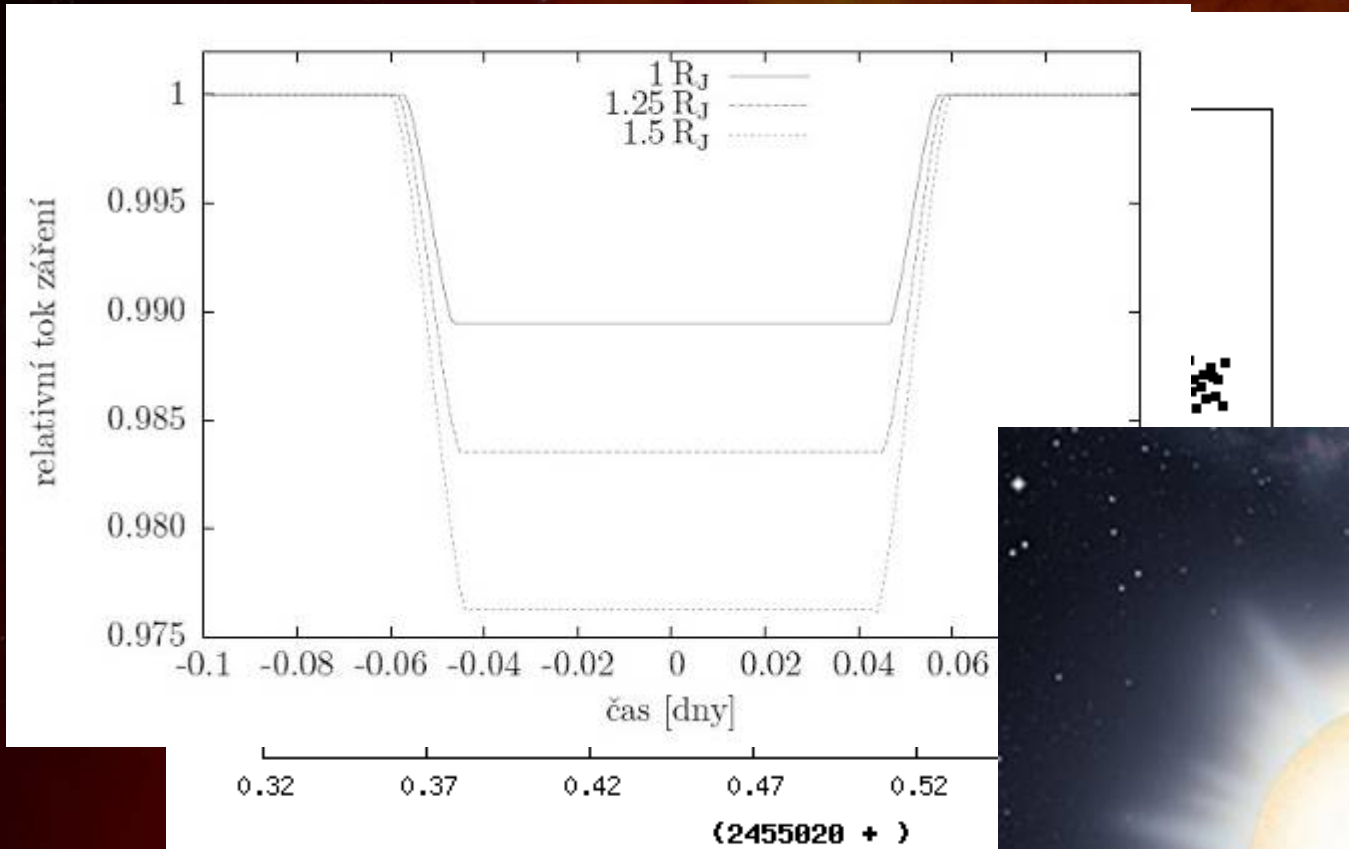
Tranzit exoplanety a jeho parametry



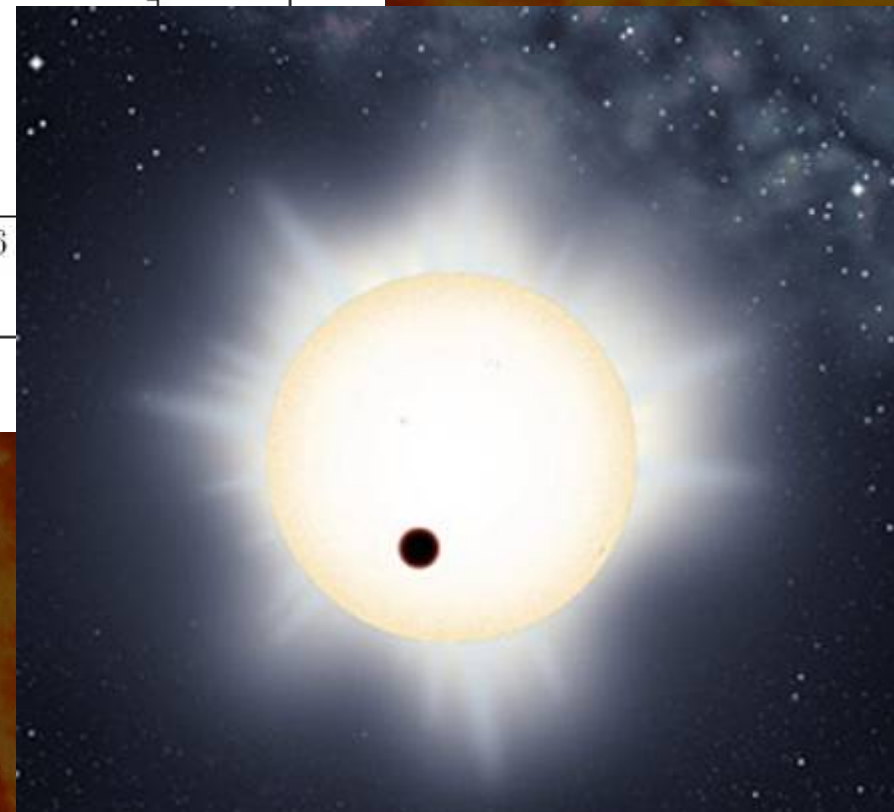
$R_p, r \Rightarrow M_p$ (absolute)

,
(000)

Tranzit exoplanety a jeho parametry



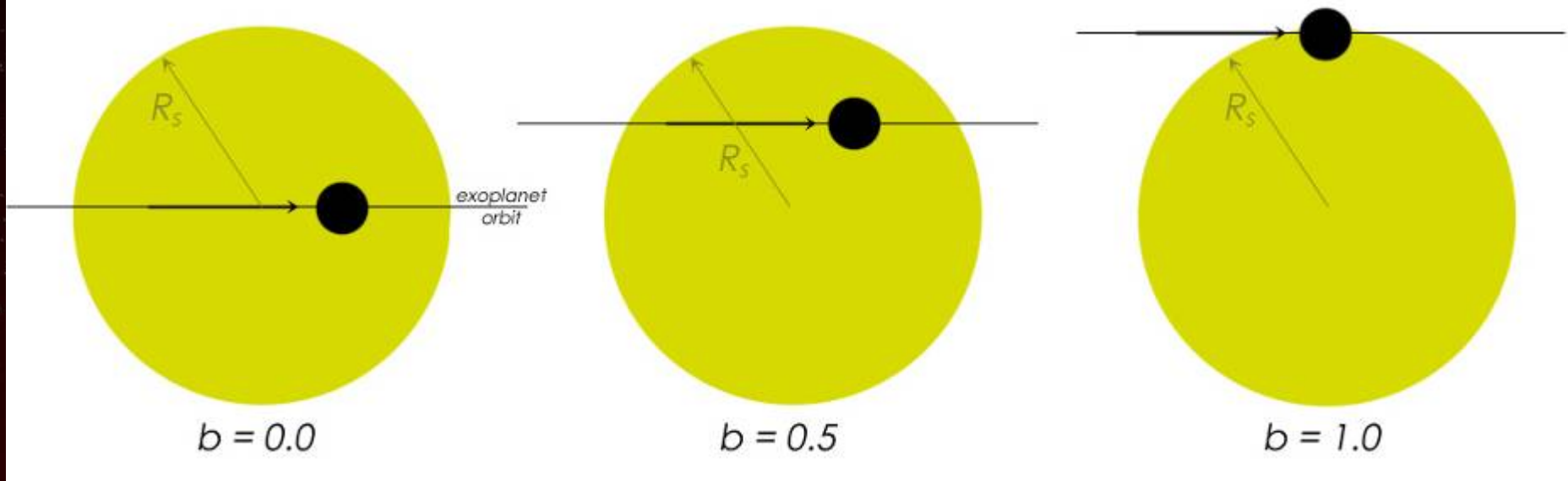
- okamžik středu tranzitu
- délka trvání



Tranzit exoplanety a jeho parametry

Impact factor explanation in exoplanet transit

$$b = a \cdot \cos(i) / R_s$$



- Impact faktor určuje polohu na disku hvězdy, kudy tranzituje planeta
- Hodnoty 0,0 (planeta jde přes střed disku) až 1,0 (tečný tranzit)

Co nám tranzity umožňují změřit

geometrie soustavy hvězda - planeta

- a [AU] – velká poloosa
 - určuje se z 3. Keplerova zákona, nutná znalost hmotnosti hvězdy

$$P^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{G(M_* + M_P)} \quad \Rightarrow \quad a = \sqrt[3]{\frac{P^2 G M_*}{4\pi^2}}$$

- i [°] – inklinace
 - určuje se ze změřené doby a hloubky tranzitu, nutná znalost poloměru hvězdy, za pomoci pythagorovy věty a algebraických úprav goniometrických funkcí \sin a \cos

$$i = \arccos \sqrt{\frac{(R_* + R_P)^2}{a^2} - \sin^2 \frac{\pi t_z}{P}}$$

Co nám tranzity umožňují změřit

geometrie soustavy hvězda - planeta

- hloubka poklesu
- R_p [R_{Jup}] – poloměr planety
 - určuje se z hloubky změřeného tranzitu, relativně vůči poloměru hvězdy, při znalosti rozměrů hvězdy => absolutní hodnota v km (většinou jednotky $R_{Jupiter}$)

$$\Delta F = \frac{F_* - F_t}{F_*} = \frac{\pi R_*^2 I_* - (\pi R_*^2 I_* - \pi R_p^2 I_*)}{\pi R_*^2 I_*} = \left(\frac{R_p}{R_*} \right)^2$$

- změna zářivého toku se vypočte z amplitudy v mag pomocí Pogsonovy rovnice $dm = -2.5 * \log (I_1/I_2)$

Co nám tranzity umožňují změřit

hledání dalších planet v systému

- Měříme dlouhodobě a přesně střed tranzitu => informace o předbíhání nebo zpoždování tranzitů oproti předpovědi (O-C)
- Krátkodobé cyklické variace mohou být způsobeny
 - přítomností exo-měsíců kolem tranzitující planety (dosud nepotvrzeno žádným pozorováním) amplitudy TTV do 15s
 - přítomností další planety v systému, pozorování naznačují kolísání O-C u OGLR-TR-111b, amplituda +/- 2 minuty, může být způsobeno planetou o hmotnosti Země (při $e = 0.3$) až 4 Jupitery (při $e = 0.0$), Díaz a kol, 2008
- Dlouhodobé variace v TTV – precesní pohyb při $e > 0.0$, precese periastra
- Kolísání délky trvání tranzitu – důkaz precesního pohybu
- Obecně obtížná pozorovatelská úloha – hloubka tranzitu 0,01 mag, nároky na přesnost lépe než 1 minuta
- HAT-P-13 b a c publikován objev červenec 2009

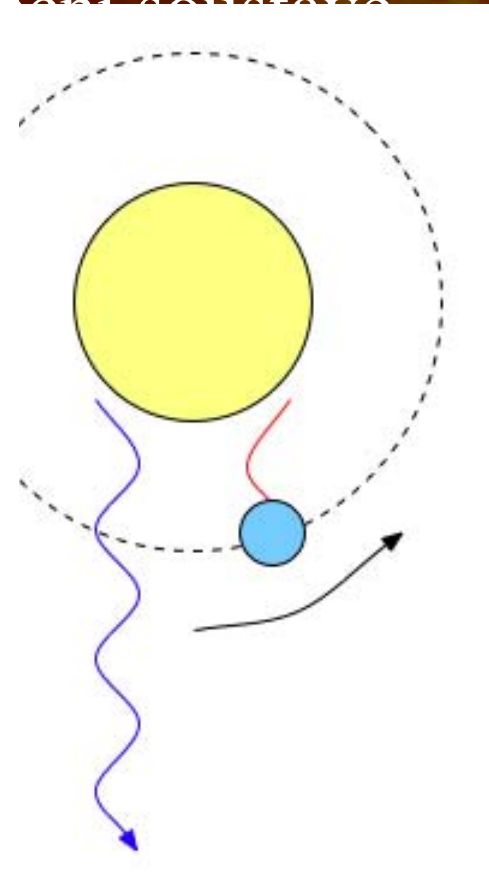
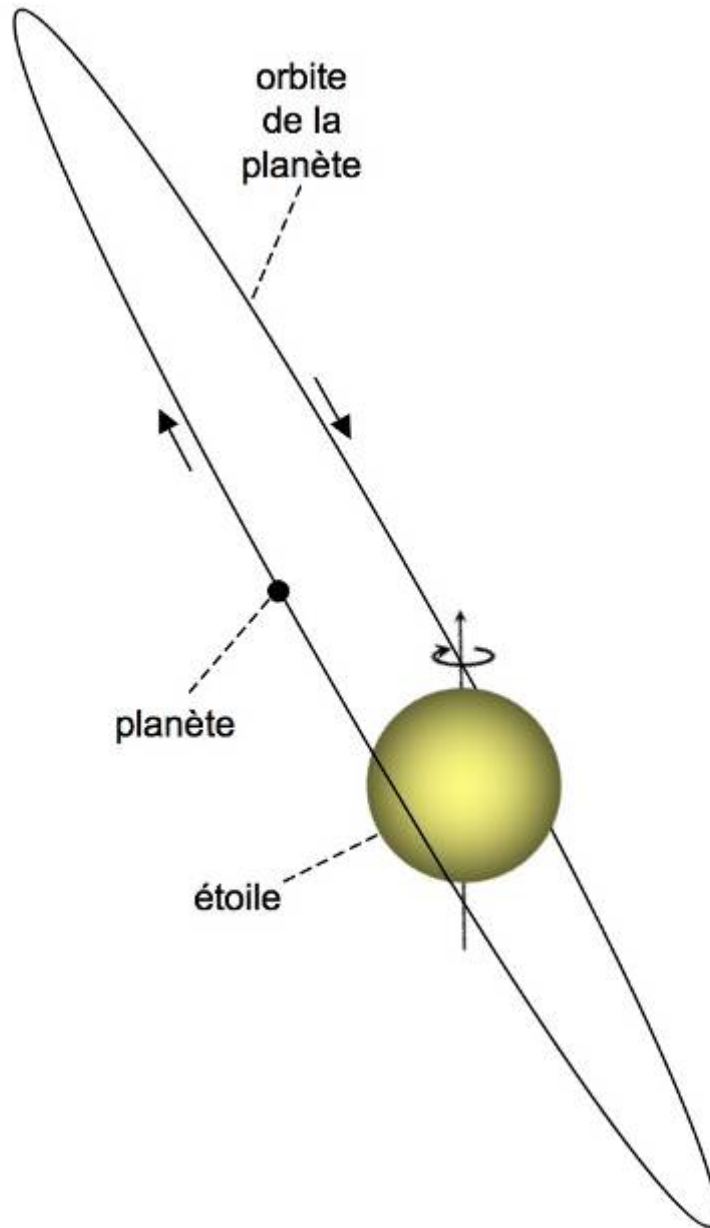
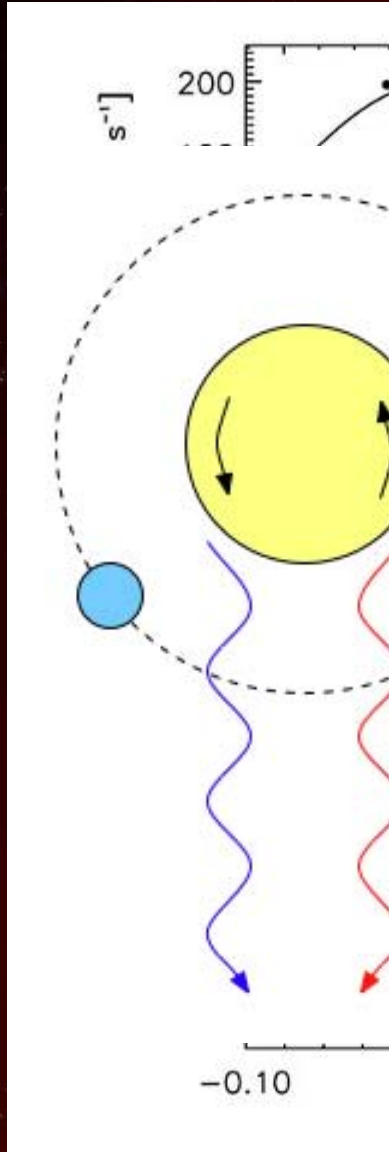
Co nám tranzity umožňují změřit

Sk

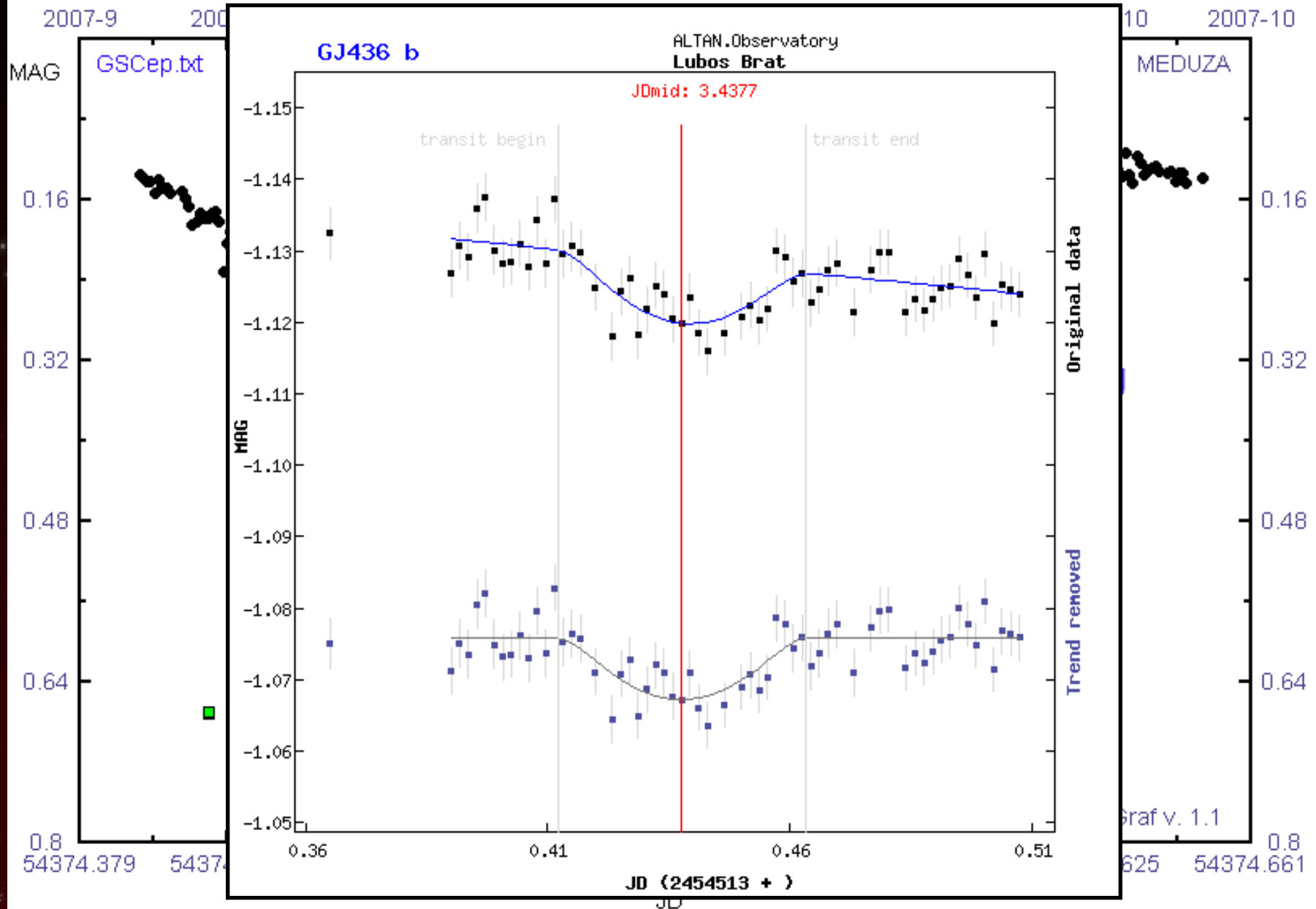
efekt)

y – obdoba

řní soustavě



Fotometrie tranzitů v praxi



Fotometrie tranzitů v praxi

- metodika snímání -

• Postup při pozorování

1.

ETD complete ... worldwide ... continuously growing ...
Exoplanet Transit Database
<http://var.astro.cz/ETD>

Known transitters:

- CoRoT-1 b
- CoRoT-2 b
- CoRoT-3 b
- CoRoT-4 b
- GJ436 b
- HAT-P-1 b
- HAT-P-10/WASP-11 b
- HAT-P-11 b
- HAT-P-12 b
- HAT-P-13 b
- HAT-P-2 b
- HAT-P-3 b
- HAT-P-4 b
- HAT-P-5 b
- HAT-P-6 b
- HAT-P-7 b
- HAT-P-8 b
- HAT-P-9 b
- HD149026 b
- HD17156 b
- HD189733 b
- HD209458 b
- HD80606 b
- LUPUS-TR3 b
- OGLE-TR-10 b
- OGLE-TR-111 b
- OGLE-TR-113 b
- OGLE-TR-132 b
- OGLE-TR-182 b
- OGLE-TR-211 b
- OGLE-TR-56 b
- OGLE-TR-L9 b
- TrES-1 b
- TrES-2 b
- TrES-3 b
- TrES-4 b
- WASP-1 b
- WASP-10 b
- WASP-12 b
- WASP-13 b
- WASP-14 b
- WASP-15 b
- WASP-2 b
- WASP-3 b

ETD - Exoplanet Transit Database

[Announce us paper with transits](#) | [How to contribute to ETD](#) | [Model-fit your data](#) | [Transit predictions](#)

HAT-P-9 b (Aur)

RA (J2000): 07 20 40.45, DE (J2000): +37 08 26.4,
V = 12.3 mag, dV = 0.013 mag, duration = 206 minutes
Per = 3.92289 d, T0(HJD) = 245417.9077

↓

←

What's new:

2009-07-22 - New transiting exoplanet HAT-P-13 b (and c ?) in UMa
G. A. Bakos et al. has discovered a new transiting exoplanet in double exoplanet system HAT-P-13 b and c. The "b" planet is transiting with orbital period 2.9 days and "c" planet is outer-planet with period 428.5 days and it is not known to display transits.

The "b" planet was added to ETD with initial - discovery TTV data by Bakos et al. and is now available in transit predictions and in our fitting algorithm.

For more details, see discovery paper HAT-P-13b, c: a transiting hot Jupiter with a massive cooler companion on an eccentric orbit by G. A. Bakos and 17 co-authors.

2009-07-13 - Modelling of exoplanet system from transit light curve. We have added NEW FUNCTION to TRESKA & ETD transit submissions. Derived depth and length of transit are used for computing exoplanet parameters planet radius and inclination angle. Uncertainties are computed as well. The result is given both in table and as visualization of the transit event viewed from Earth. Comparison with catalogue / published parameters is available as well.

astro.cz

Fotometrie tranzitů v praxi

- metodika snímání -

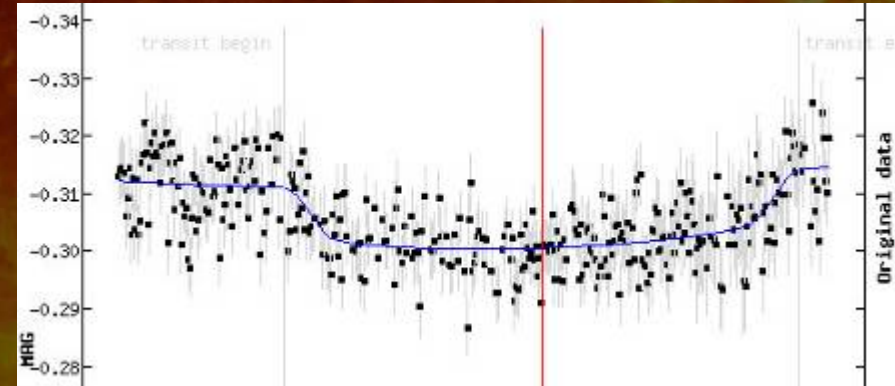
- Postup při pozorování
 1. Nalezení vhodného tranziteru podle předpovědi na var.astro.cz
 2. Spustit snímkování minimálně 1 hodinu před začátkem a snímkovat minimálně 1 hodinu po konci tranzitu
 3. Zvolte expozici tak dlouhou, aby byl signál měřené hvězdy a alespoň jedné srovnávací hvězdy v rozmezí 30 – 50 kADU
 4. Expozice by neměly být kratší než 20 s. Pokud je hvězda přexponována, rozostřete ji.
 5. Při ohnisku pod 60cm je rozostřování nutnost! Nad 1 m se o to postará seeing.
 6. Pokud musíte během pozorování proložit dalekohled na německé paralaktické montáži, udělejte to tak, aby nebyly „zasaženy“ sestupná a vzestupná větev (ingress a egress)
 7. Pokud pozorujete v místě, kde jsou umělé světelné zdroje, použijte dlouhou rosnici k odstranění tzv. červeného šumu.

Fotometrie tranzitů v praxi

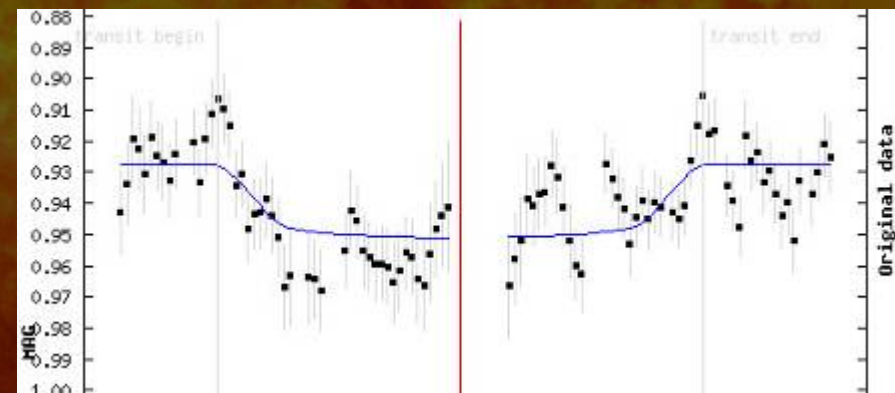
- metodika snímání -

- Poznámka k šumu v datech

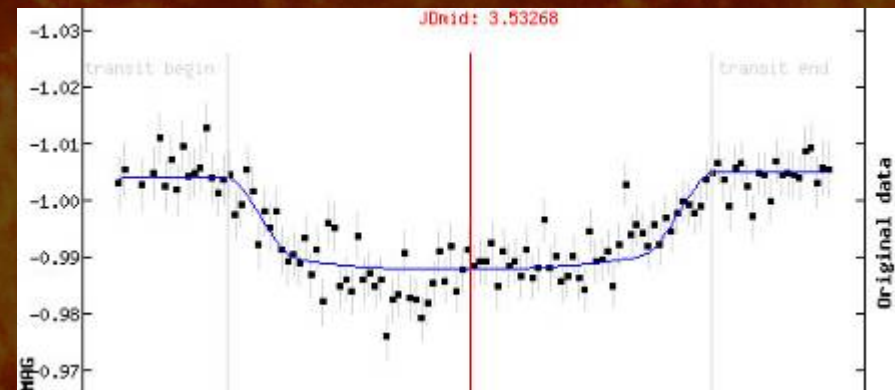
„bílý“ šum – poissnovo rozložení =>



„červený“ šum – chybný chod
montáže =>



„červený“ šum – pravděpodobně
vliv parazitního světla od
lokálních zdrojů svět. znečištění =>



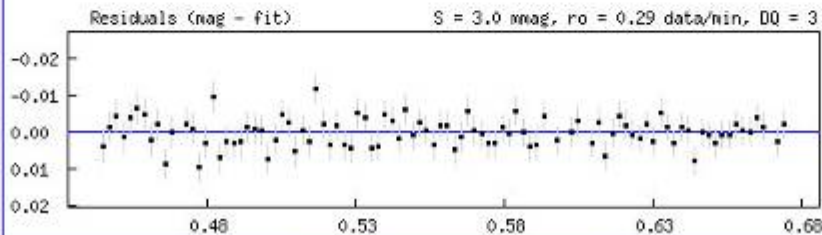
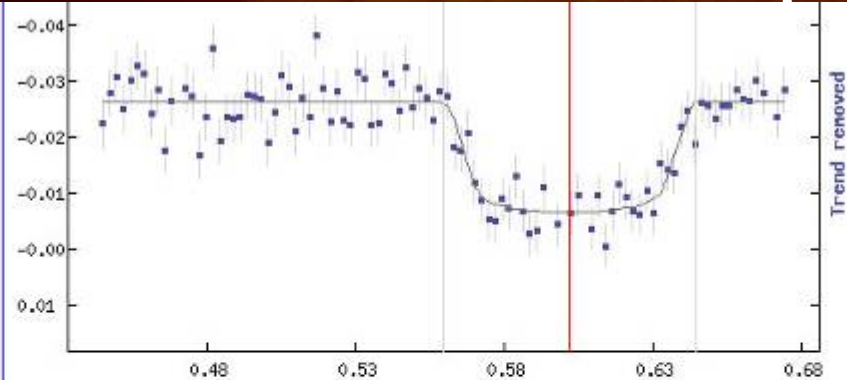
Fotometrie tranzitů v praxi

Statistické centrum
Exoplanet Transit Database
Linearita CCD kamer

DOWNLOAD
RSS zdroje

DALŠÍ
začátečnickým
příbuzné odkazy

ČAS - Česká astronomická
společnost



Střed tranzitu JDmid:

Střed tranzitu HJDmid: (helcor = **0.00059**)

Střed tranzitu - UT: - - : :
RRRR-MM-DD HH:mm:ss

Délka tranzitu: minut

Hloubka poklesu: mag

Připojit mapku:

(Soubor JPG / PNG / GIF s vyznačenou proměnnou, srovnávací hvězdou a check1, check2 hvězdami)

> [Zobrazit tranzit v ETD](#) <

Aktivní pozorovatelný:
Pozorovatelský chat

Momentálně nepozoruje
žádně přihlášená
observatoř.

Návštěvy

Celkem 147728
Týden 542
Dnes 64
Online 3

Exoplaneta: HAT-

Pozorovatel: Luboš

Poštovní adresa: Velká

E-mail: brat@

Stanice: ALTA

Geografická poloha: východ

Přístroj: RL200

Použitý filtr: U

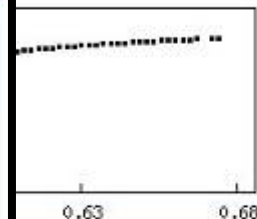
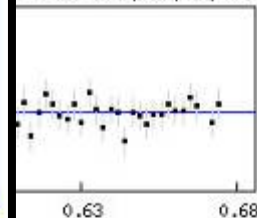
Poznámky / podmínky: 180s

Již publikováno v:



Zobrazit tranzit v ETD

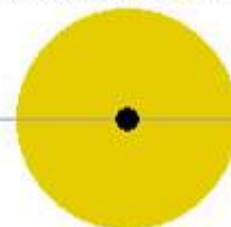
= 0.29 data/min, DQ = 3



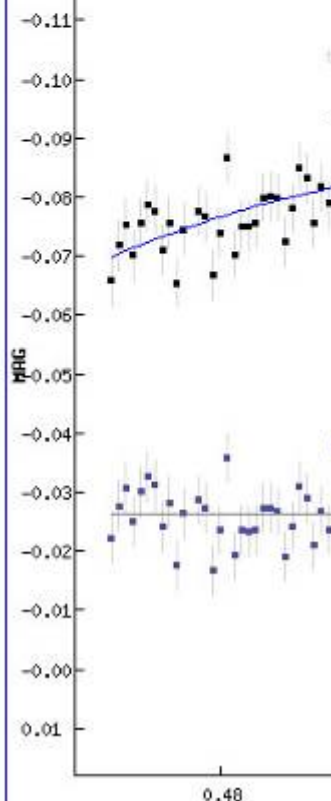
Změřená geometrie systému

	<i>katalogové údaje</i>	<i>změřené parametry</i>
R_p :	0.89 +/- 0.046 R_{Jup}	1.079 $_{-0.033}^{+0.032}$ R_{Jup}
R_* :	0.824 +/- 0.043 R_{Sun}	<i>fixed, errors included in i</i>
A:	0.03894 +/- 0.0007 AU	<i>fixed, errors included in i</i>
Per:	2.899738 days	<i>fixed</i>
i :	87.24 +/- 0.69 °	86.27 $_{-0.22}^{+0.24}$ $_{0.87}^{1.04}$ °

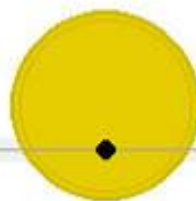
Sun & Jupiter scale, $i=90^\circ$



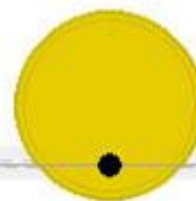
HAT-P-3 b



Catalogue geometry



Measured geometry

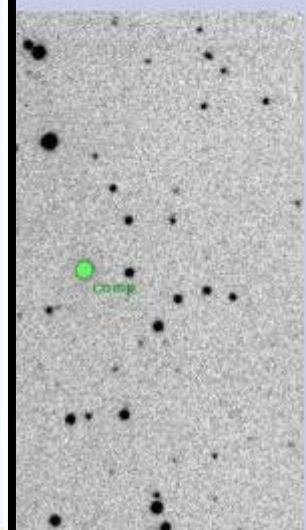


6

6 (helcor = 0.00059)

minut

mag



VYSVĚTLIVKY a LEGENDA K OBRÁZKU

Pokročilá práce s křivkou tranzitu

- neúplné tranzity -

- P
- J

POZOROVACÍ PROJEKTY
 B.R.N.O. - zářkovité dvojhvězdy
 MEDÚZA - fyzické proměnné
 TRESCA - exoplanety
 HERO - objekty vysoké energie



Pozorovací DENÍKY

ČASOPIS ϵ -Perseus
 RSS feed

O SEKCI PPH ČAS

- výbor sekce
- proměnnářské akce
- časopis Perseus
- výroční zprávy o činnosti
- historie sekce
- cena Jindřicha Šilhána
- "Proměňář roku"
- členské příspěvky & podmínky
- žestí
- přihláška za člena
- seznam členů
- Jednací a organizační řád
- Seznamte se: Sekce PHE ČAS

DATABÁZE & APLIKACE

- Univerzální vyhledávací brána
- Open European Journal on variable stars
- O-C brána
- CzeV katalog
- SvkV katalog
- RafV katalog
- proměnnářský e-shop
- Světelné křivky & data MEDÚZA
- Znamé zářkovité dvojhvězdy
- Statistické centrum
- Exoplanet Transit Database
- Linearita CCD kamer

DOWNLOAD

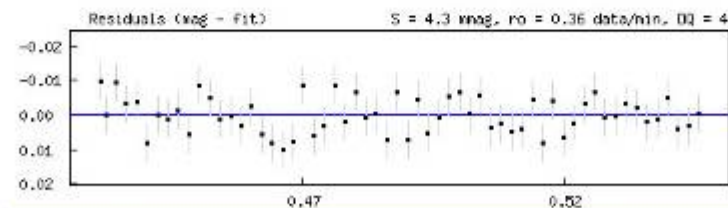
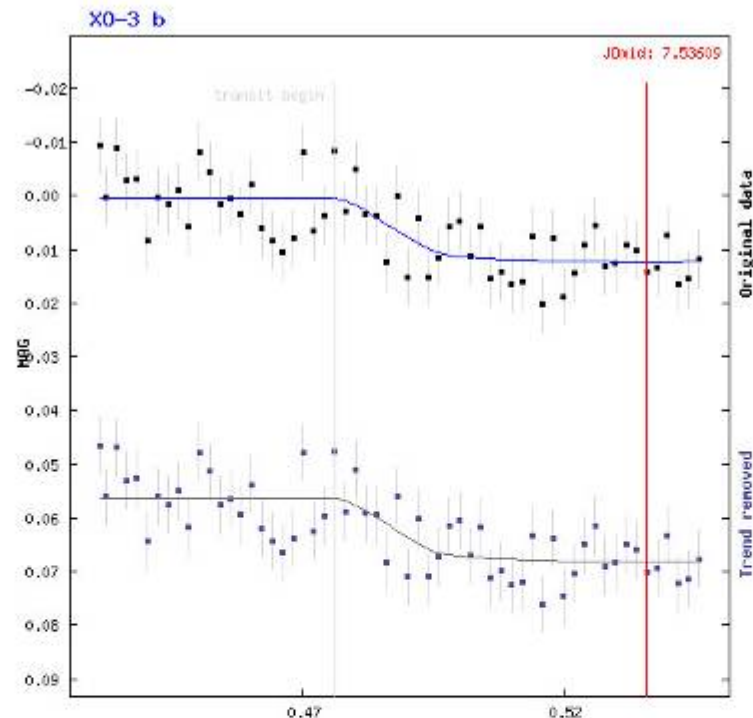
RSS zdroje

DAL ŠÍ

začátečnickým
příbuzné odkazy

ČAS - Česká astronomická
společnost

jiném programu nebo je můžete používat k další práci.



Střed tranzitu JDmid:	2455027.53609 +/- 0.00347	
Střed tranzitu HJDmid:	2455027.53238 +/- 0.00347	(helcor = -0.00371)
Délka tranzitu:	172.8 +/- 0.0	minut

- Nová minima v B.R.N.O.:**
- V469 Cas (H. Kučáková)
 - BF Dra (H. Kučáková)
 - DK Sge (L. Šmelcer)
 - DK Sge (L. Šmelcer)
 - XZ And (M. Vrašťák)
 - SW Lac (L. Šmelcer)
 - SW Lac (L. Šmelcer)
 - SW Lac (L. Šmelcer)
 - DR Vul (L. Šmelcer)
 - DR Vul (L. Šmelcer)

- Nové tranzity TRESCA:**
- HAT-P-8 b (H. Kučáková)
 - HD189733 b (R. Branco)
 - TrES-4 b (R. Branco)
 - WASP-2 b (B. Tieman)
 - XO-3 b (L. Brát)
 - HD189733 b (F. Salviaggio)
 - TrES-3 b (P. Veres, L. Kornos, J. Toth)
 - WASP-2 b (P. Lobo)
 - WASP-3 b (B. Tieman)
 - HD189733 b (A. Marchini)

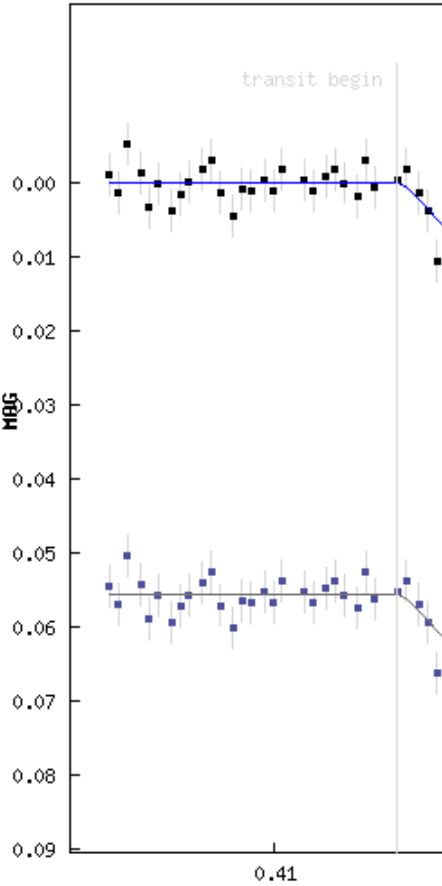
- Nová data MEDÚZA:**
- CCD:
 L. Brát: RR Cam, QX Aur,
 PZ Cas, V 347 Aql,
 182612 Her, KU Her,
 KT Aur, KS Cas, BI Tau,
 BG Tau,

- VIZ:**
- J. Špeil: RX And, Z And,
 R Aql, AE Aqr, RX Boo,
 R Cam, X Cam, Z Cam,
 AA Cas, EQ Cas, R Cas,
 VZ Cas, T Cep, T CrB,
 TX CVn, U CVn, AA Cyg,
 AF Cyg, BF Cyg, CH Cyg.

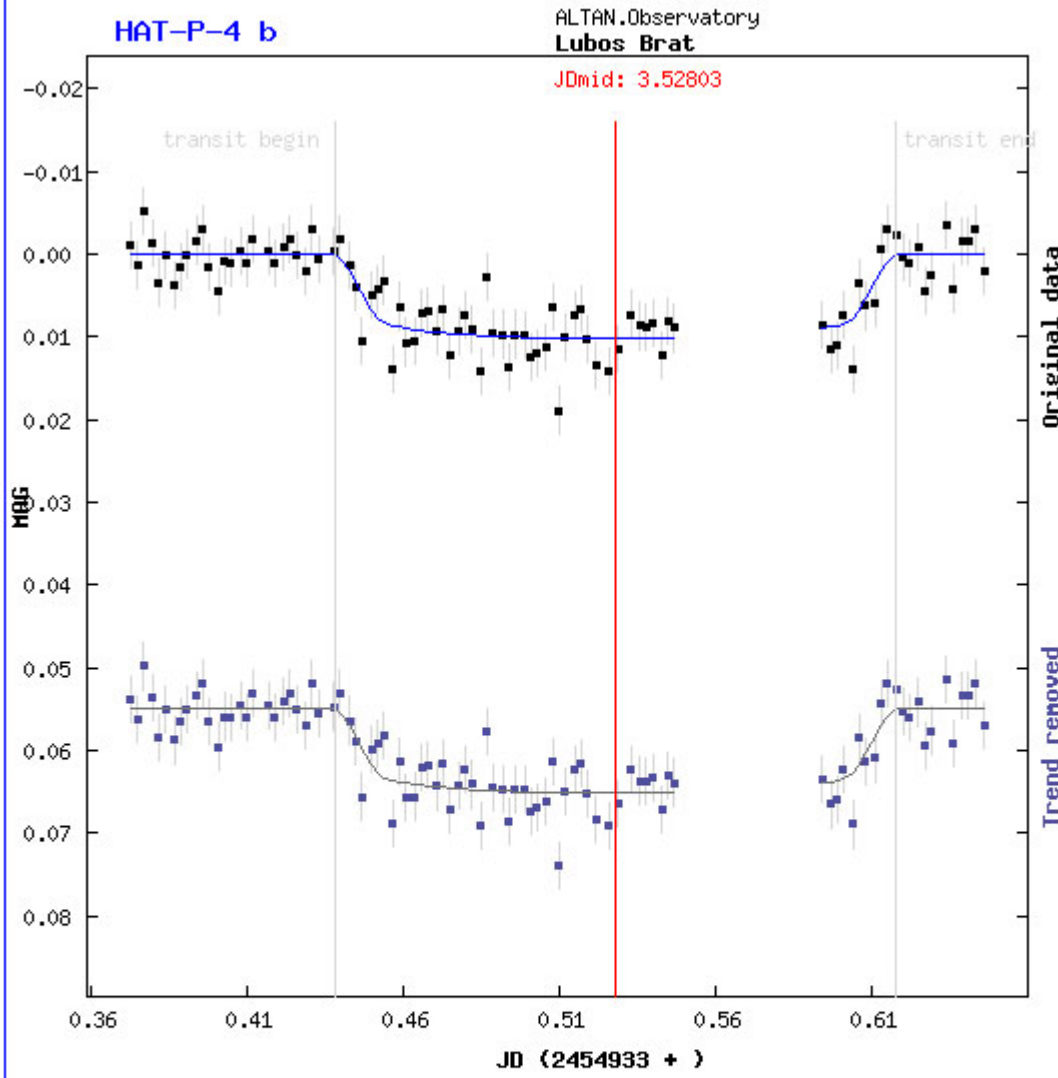
Aktivní pozorovatelný:
 Pozorovatelský chat

Momentálně nepozoruje žádná přihlášená observatoř.

HAT-P-4 b

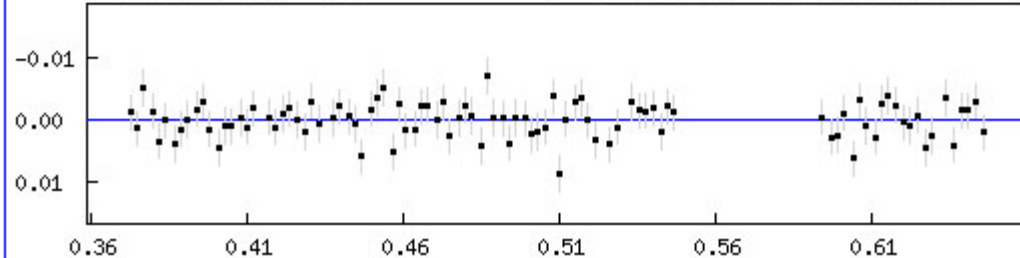


HAT-P-4 b

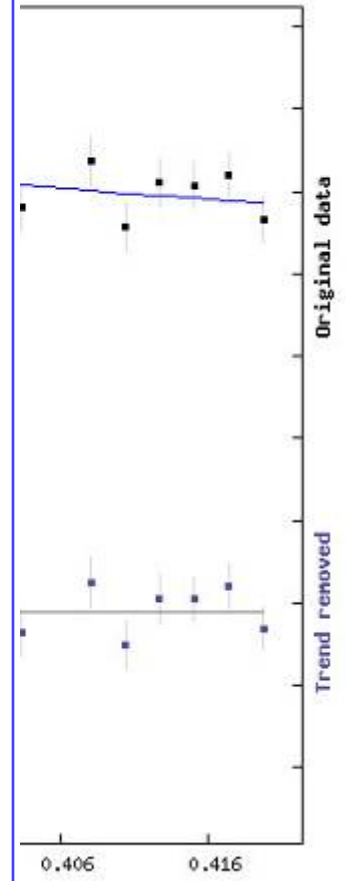


Residuals (mag - fit)

S = 2.2 mmag, ro = 0.24 data/min, DQ = 3



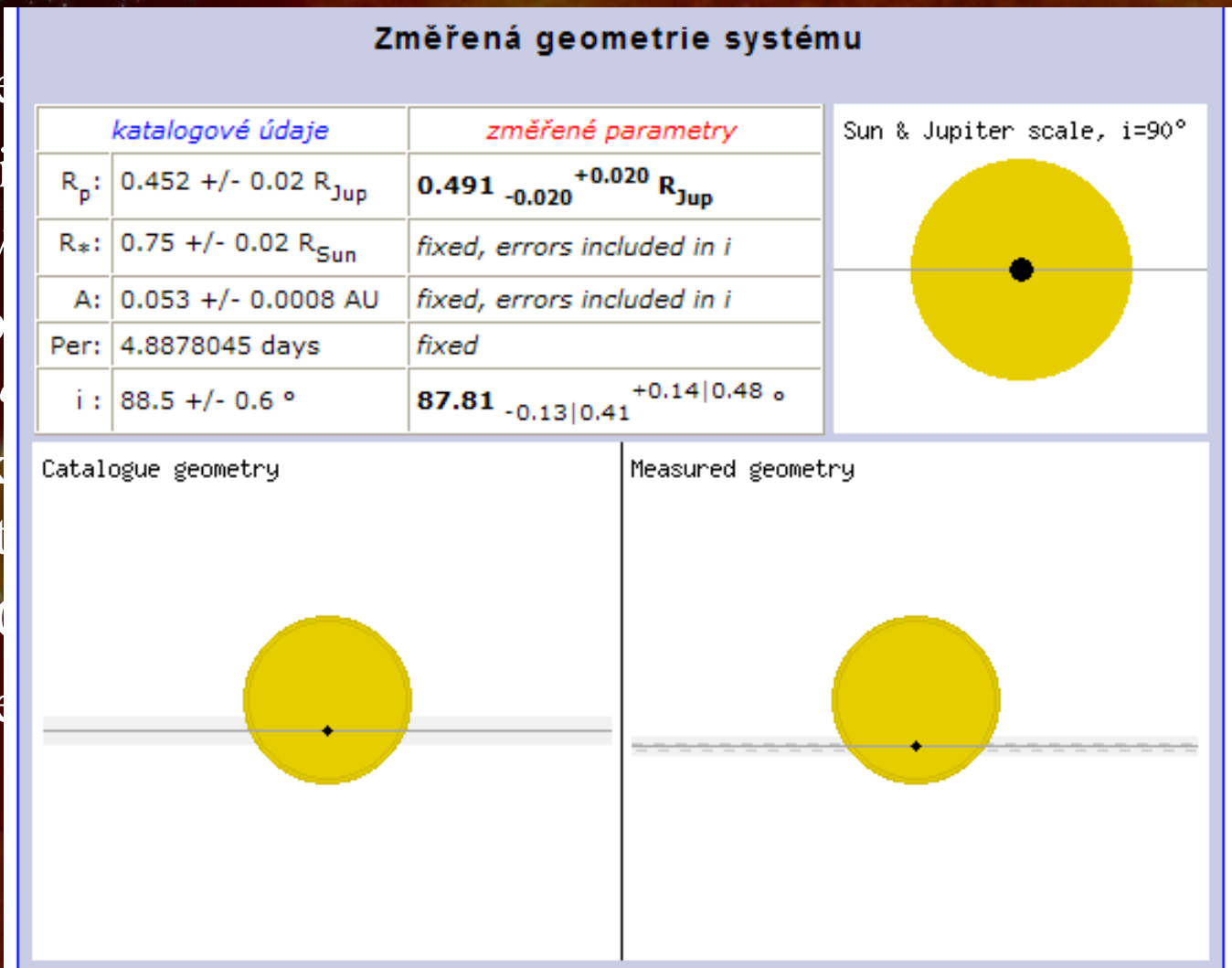
tory



Pokročilá práce s křivkou tranzitu

- zvyšování přesnosti -

- Proveď
- Vlož
- barev
- Zkop
- JD, m
- Opak
- složit
- NEPC
- Výsle



lášť)

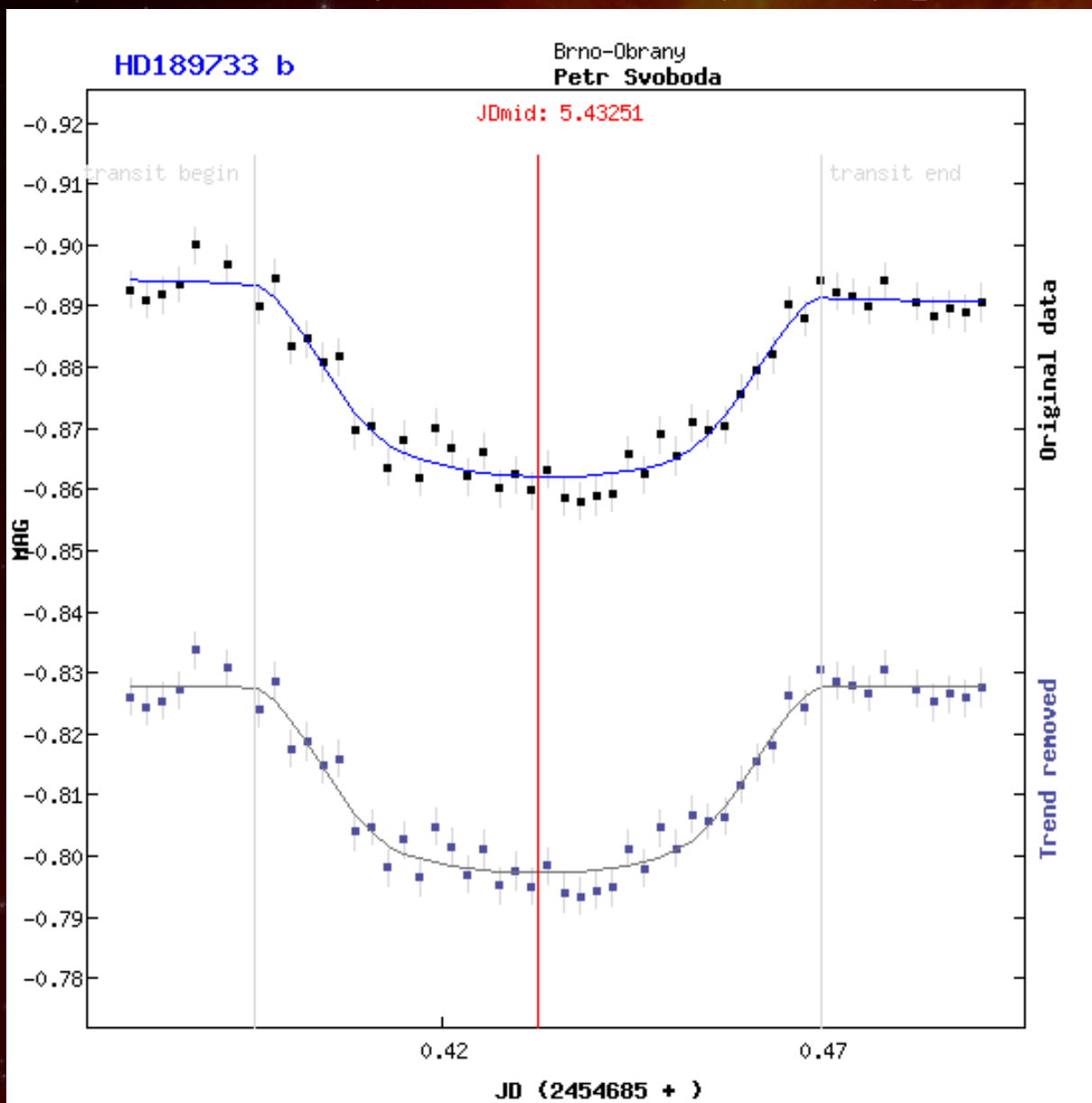
inak

end

a data

Zajímavá pozorování tranzitů u nás

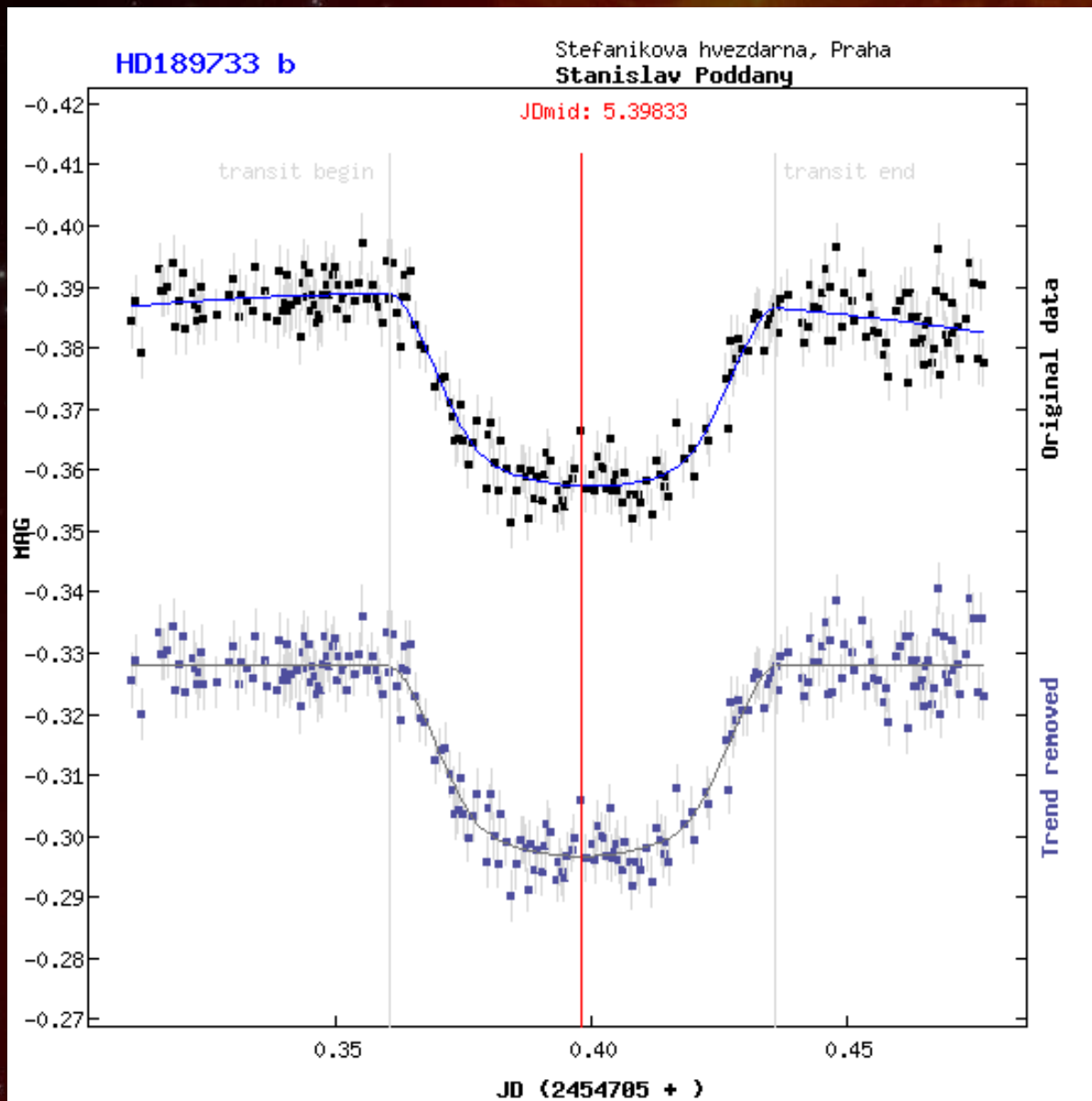
- zajímavé české výsledky pozorování tranzitů -



- Světový rekord – pozorování tranzitu nejmenším dalekohledem
- P. Svoboda, srpen 2008
- 3.4 cm RF + ST-7

Zajímavá pozorování tranzitů u nás

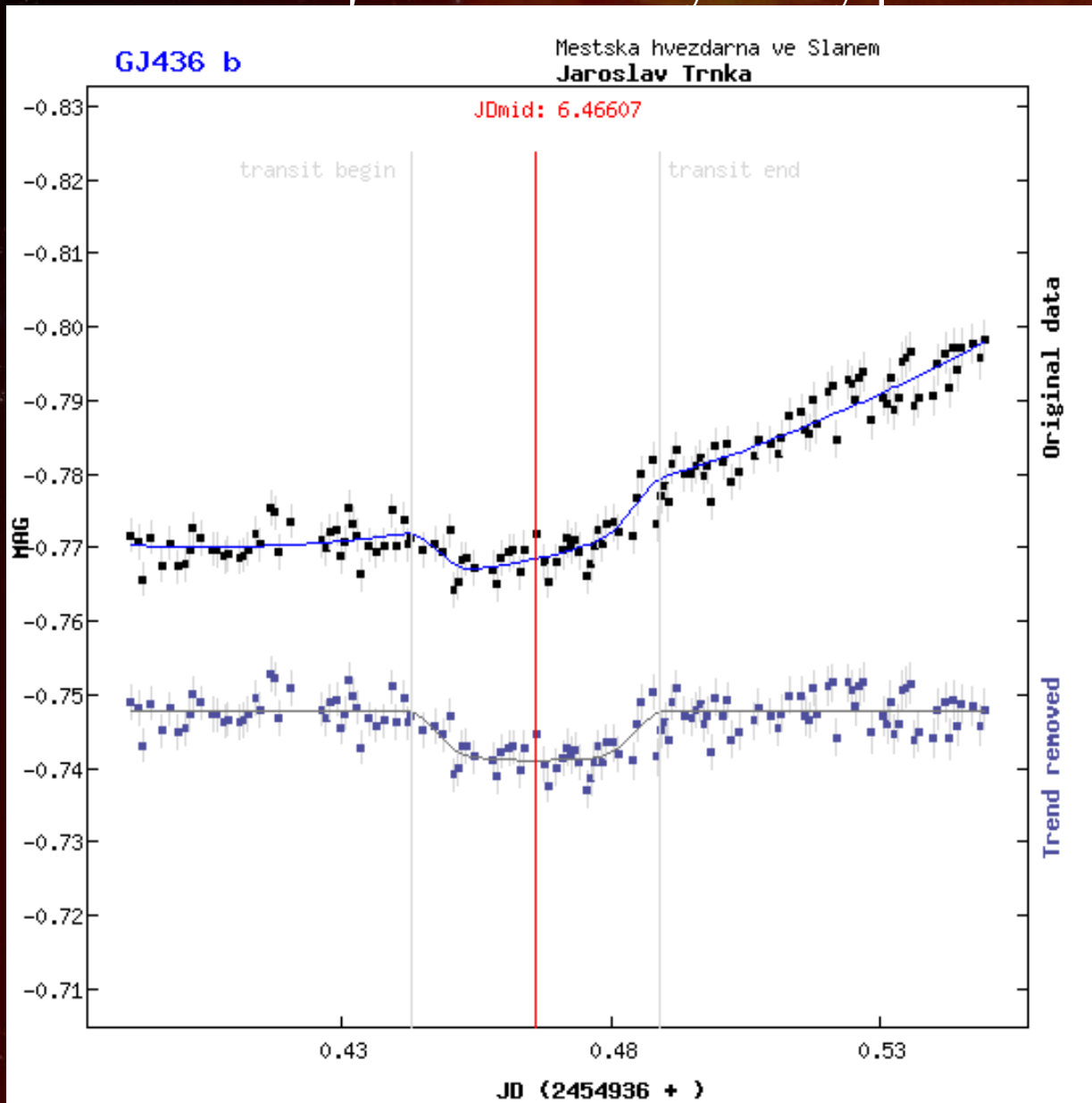
- zajímavé české výsledky pozorování tranzitů -



- Tranzity lze pozorovat i z centra velkoměsta
- S. Poddaný, Praha, srpen 2008
- 40cm RL + ST10, defocused
- Hloubka 0.03 mag

Zajímavá pozorování tranzitů u nás

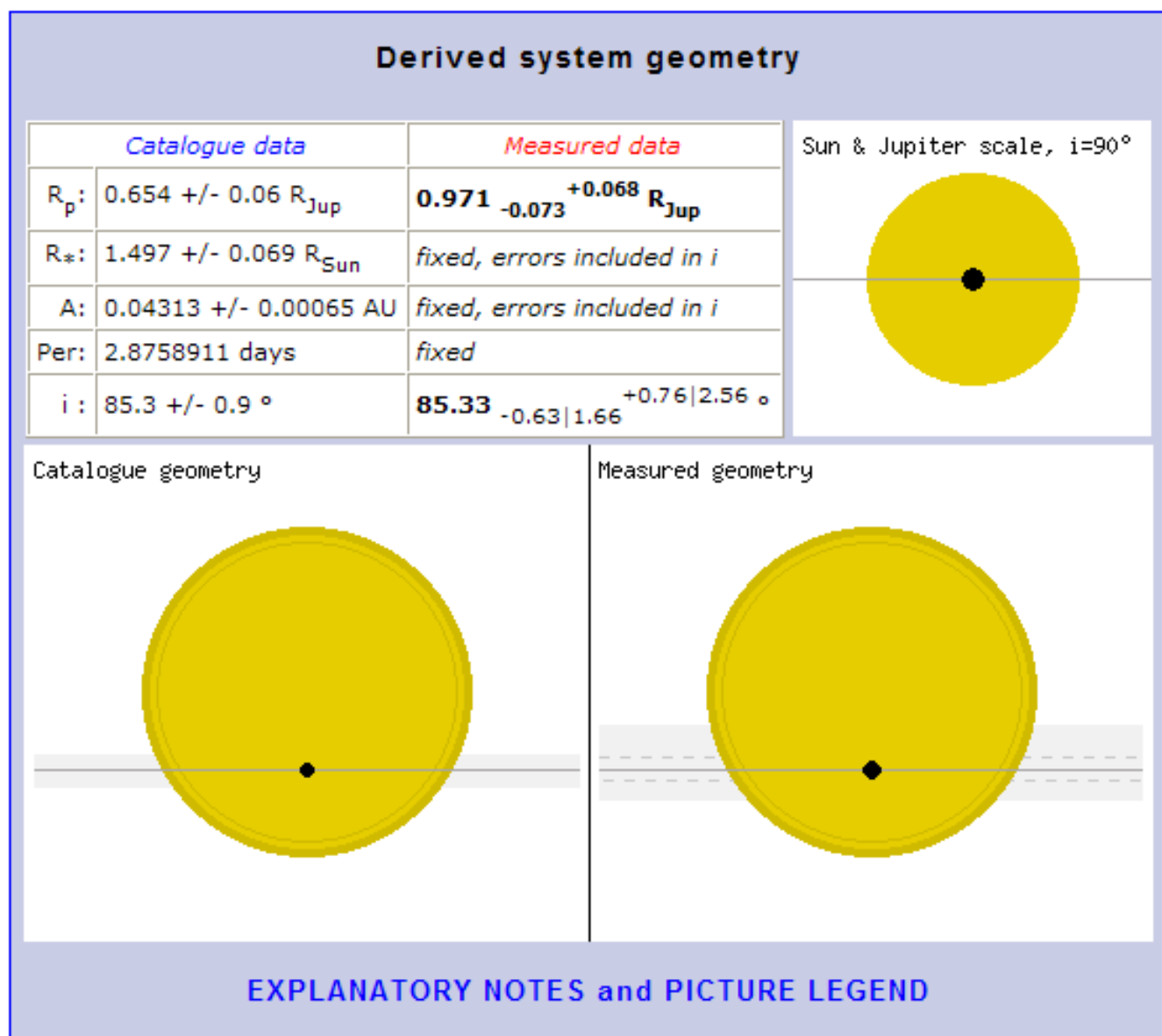
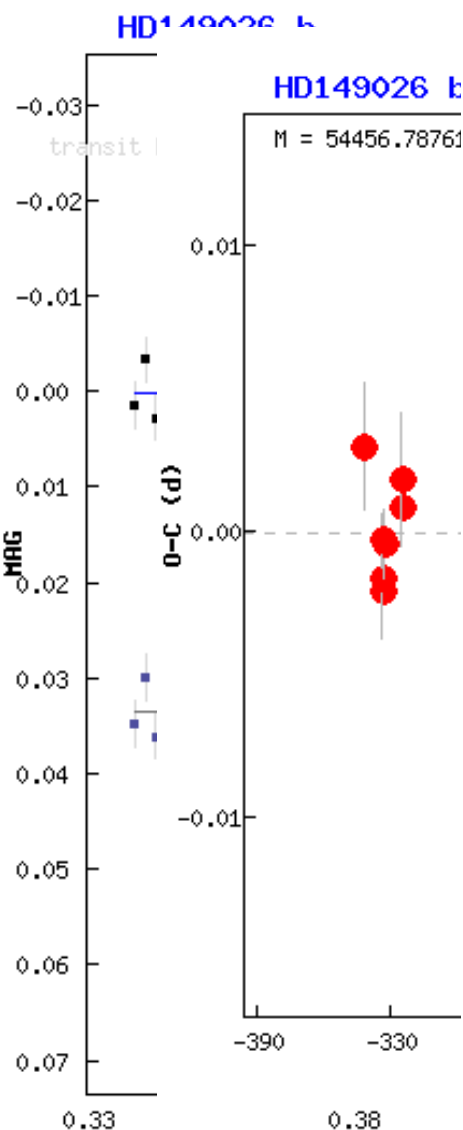
- zajímavé české výsledky pozorování tranzitů -



- Tranzity lze pozorovat s vysokou přesností i z centra města
- J. Trnka, Slaný, duben 2009
- 20cm RL + ST9, defocused
- Hloubka 0.006 mag
- Průměrná chyba měření 1,9 mmag

Zajímavá pozorování tranzitů u nás

- zajímavé české výsledky pozorování tranzitů -

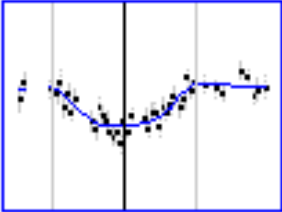
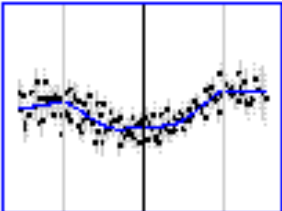
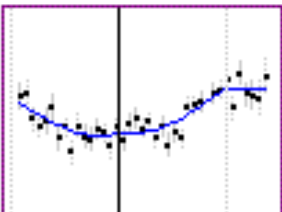


009

od

lní
er a

Zajímavá pozorování tranzitů u nás

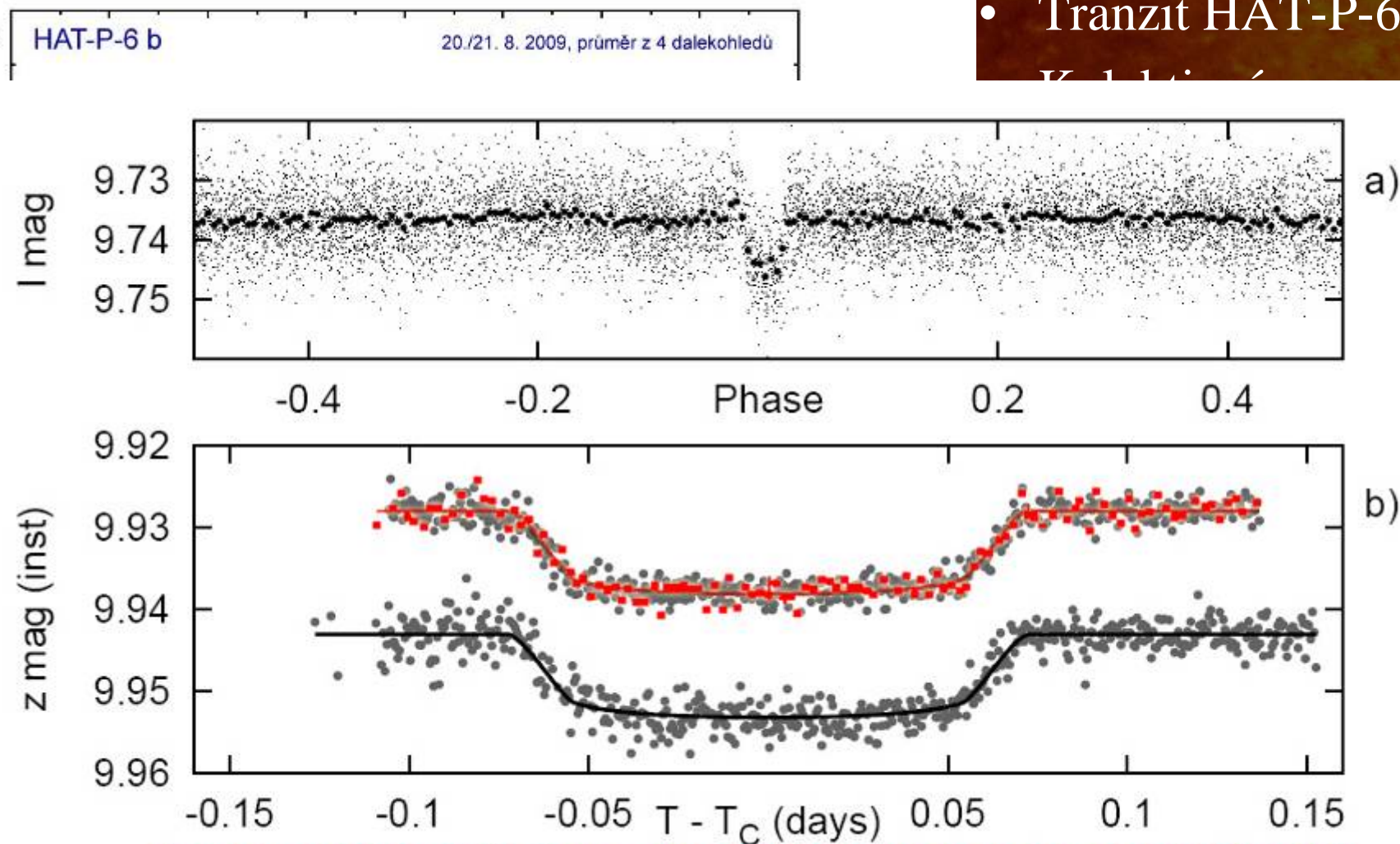
#	HVĚZDA	FILTR	STŘED TRANZITU	KŘIVKA	POZOROVATEL, STANICE / VLOŽENO
6	TrES-2 b	R	2009-04-07 02:06:50 Ukaž v ETD		Stanislav Poddaný Štefánik observatory, Prague, Czech Republic 2009-04-07
5	TrES-2 b	Clear	2009-04-07 02:07:24 Ukaž v ETD		Václav Přibík Hinata-sou Zlín 2009-04-07
4	TrES-2 b	Clear	2009-04-07 02:06:54 Ukaž v ETD		Luboš Brát ALTAN.Observatory 2009-04-07

- Tranzit TrES-2 b, 7. dubna 2009
- 3 pozorovatelé nezávisle určili střed tranzitu s přesností do 30s
- Jindy běžně shoda okolo 1,5 minuty (odpovídá to požadavku na hledání terestrických planet v systému)
- S. Poddaný, Praha, V. Přibík, Zlín, L. Brát, Pec pod Sněžkou

Zajímavá pozorování tranzitů u nás

- zajímavé české výsledky pozorování tranzitů -

- Tranzit HAT-P-6 b



Combined LC by Brát, Trnka, Klos, Dreveny, Kalisch, Vrastak, 20.8.2009

Zajímavá pozorování tranzitů u nás

- zahraniční pozorování zaslaná do databáze TRESKA -

- 23 zahraničních spolupracovníků x 25 českých pozorovatelů
- 2007 – 3 pozor., 2008 – 28 pozor., 2009 – 215 pozor.
- Kanada, USA, Portugalsko, Norsko, Itálie, Francie, Německo, Namibie, Kypr, Čína, Japonsko, Austrálie





Děkuji za pozornost!