

## Detekcija tranzita ekstrasolarne planete HD189733b

---

Izvršeno je fotometrijsko posmatranje tranzita ekstrasolarne planete HD189733b. Metodom diferencijalne fotometrije dobijena je kriva sjaja. Modelujući je empirijskom funkcijom dobijenom na osnovu rezultata iz prethodnih radova, dobijen je trenutak minimuma sjaja, tj. trenutak centralnog tranzita ekstrasolarne planete. Kombinujući dobijeni rezultat sa onim dostupnim iz prethodnih radova dobijene su efemeride:  $T_0 = 2453644.9243 \pm 0.0004$  (HJD) + E-P,  $P = 2.21855 \pm 0.00002$  dana.

---

### Uvod

Od preko 200 trenutno poznatih ekstrasolarnih planeta, otkrivenih uglavnom metodom radijalnih brzina, poznato je samo deset takvih da pomraćuju matičnu zvezdu, tj. mogu se detektovati fotometrijski. Do pomraćenja dolazi ukoliko je vizura približno u ravni orbite ekstrasolarne planete. Ova pojava se naziva tranzit, pa se i metoda posmatranja ove pojave i beleženje smanjivanja sjaja zove metoda tranzita. Ovom metodom potvrđeno je postojanje ekstrasolarnih planeta i zajedno sa metodom radijalnih brzina daje informaciju o masi i dimenziji planeta u posmatranom sistemu.

Godine 2005. Bouchy i saradnici otkrili su da oko žutog patuljka HD 189733 kruži planeta tipa "veoma vrela Jupiter", koja je pomraćuje sa periodom od 2.219 dana. Ovaj sistem je ujedno i nama najbliži otkriven sistem sa pojavom tranzita. Karakteristike matične zvezde date su u tabeli 1.

Praćenje tranzita već otkrivenih planeta usmerava se na mogućnost promene njihovog perioda usled prisustva drugih ekstrasolarnih planeta koje kruže oko iste matične zvezde, što bi dovelo do otkrivanja novih ekstrasolarnih planeta.

Cilj ovog rada je da se odredi trenutak minimuma sjaja metodom tranzita i odrede nove efemeride ekstrasolarne planete HD 189733b.

### Metoda

Ekstrasolarna planeta prilikom prividnog prelaska preko zvezde zaklanja deo diska i smanjuje sjaj koji do nas dolazi. Snimanjem takvog tranzita možemo dobiti krivu sjaja, koja predstavlja promenu sjaja posmatrane zvezde u odnosu na izabrane referentne zvezde konstantnog sjaja.

Za opisivanje takve krive u slučaju zvezde HD 189733 predložena je empirijska funkcija (Smolić, usmena informacija) koja je isprobana na podacima prethodnih posmatranja i simulacijama koje opisuju zadate sisteme i slaže se sa dobijenim rezultatima:

$$y = A_1 \cdot \exp\left(-\left|\frac{t-t_0}{T_1}\right|^{p_1}\right) + A_2 \cdot \exp\left(-\left|\frac{t-t_0}{T_2}\right|^{p_2}\right) + P_n(x) \quad (1)$$

Prvi deo, zbir dva eksponencijalna člana, opisuje sam tranzit planete. Vrednosti parametara dobijene su iz rada Bouchyja i saradnika (2005) i prikazane su u tabeli 2. Ove vrednosti, dobijene za R filter, najviše odgovaraju našem slučajukada je snimano bez korišćenja filtera. Parametar  $t_0$  predstavlja traženi trenutak minimuma krive sjaja.

Drugi deo funkcije, polinom, opisuje atmosferske uslove pri posmatranju, spektralno selektivni uticaj atmosferske ekstinkcije na poredbene zvezde različitog spektralnog tipa, uticaj uređaja korišćenog pri posmatranju kao i one nama nepoznate.

---

Andrej Obuljen (1988), Beograd, Dragiše Brašovana 11, učenik 3. razreda Matematičke gimnazije u Beogradu

Biljana Knežević (1988), Novi Sad, Momčila Tapavice 24, učenica 3. razreda Gimnazije "Jovan Jovanović Zmaj" u Novom Sadu

Mentor: Igor Smolić

Tabela 1. Karakteristike zvezde HD 189733

Parametar	Vrednost	Referenca
Rektascenzija	20 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 43 <sup>s</sup> .7133	<i>ICRS 2000.0</i>
Deklinacija	+22° 42' 39".070	<i>ICRS 2000.0</i>
Udaljenost	19.3 pc	Bouchy <i>et al.</i> 2005
Masa	0.81 M <sub>s</sub>	Bouchy <i>et al.</i> 2005
Prečnik	0.76 R <sub>s</sub>	Bouchy <i>et al.</i> 2005
Spektralni tip	K1-K2	Bouchy <i>et al.</i> 2005
Temperatura	5050 K	Bouchy <i>et al.</i> 2005
Prividna magnituda	V = 7.67	Bouchy <i>et al.</i> 2005
Metaličnost [Fe/H]	-0.03	Melo <i>et al.</i> 2006
Starost	0.5 Gyr	Melo <i>et al.</i> 2006

Tabela 2. Vrednosti parametara prvog dela funkcije (1)

Parametar	Vrednost
A <sub>1</sub>	0.02686
A <sub>2</sub>	0.00124
p <sub>1</sub>	6.28813
p <sub>2</sub>	3.80807
T <sub>1</sub>	0.03001
T <sub>2</sub>	0.01194

## Posmatrački materijal

Posmatranje je izvršeno u toku noći 5/6. 9. 2006. sa Astronomske opservatorije u Beogradu teleskopom Meade LX200R 16'' f/10 i CCD kamerom AP47p što je dalo rezoluciju od 0.66''/pix. Ukupno vidno polje svakog snimka je 11.3'. Nisu korišćeni fotometrijski filtri.

Zvezda je namerno izmeštena iz fokusa što je omogućilo duže ekspozicije bez saturacije piksela.

Ekspozicija za sve snimke bila je 1.5 sekundi. Lista četiri korišćene poredbene zvezde koje su se nalazile u istom polju slike prikazana je u tabeli 3. Meteorološki uslovi omogućili su pokrivanje samo ulaznog i izlaznog, ali ne i središnjeg dela tranzita za vreme kog je nebo bilo oblačno.

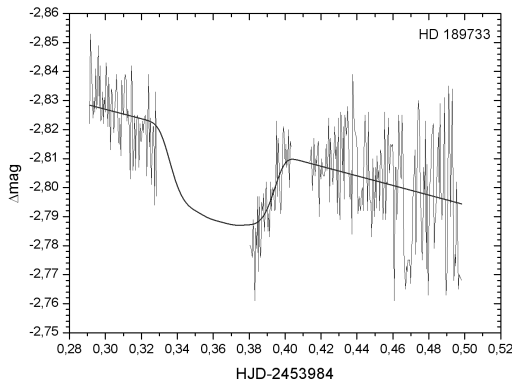
Standardna obrada snimaka, koja podrazumeva uklanjanje termalnog šuma, redukciju snimaka kao i korekcije u osetljivosti pojedinih delova CCD čipa, urađena je u softverskom paketu Astroart. Fotometrijska merenja urađena su u programu MaxIm DL. Optimalna veličina fotometrijske aperture tražena je u intervalu od 5 do 20 piksela i najmanje greške dobijene su za vrednost od 13 piksela. Greška pri određivanju magnitude za pojedinačni snimak je približno 0.01 magnituda.

## Rezultati

Nakon obrade snimaka dobijena je kriva sjaja predstavljena na slici 1. Za drugi deo funkcije (1) bilo je dovoljno uzeti samo linearni deo jer viši stepeni nisu značajno smanjivali standardnu devijaciju fotometrijskih podataka od krive sjaja.

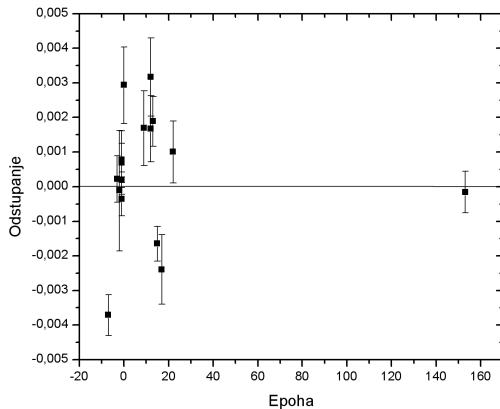
Tabela 3. Lista poredbenih zvezda sa podacima o nazivu zvezde u Tycho katalogu, prividnoj magnitudi i nebeskim ekvatorijalnim koordinatama za epohu J2000.0

Poredbena	TYC	V (magnituda)	Rektascenzija(δ)	Deklinacija(α)
1	2141-916-1	8.075	20 00 56.952	+22° 50' 49.12"
2	2141-794-1	10.986	20 00 50.905	+22° 37' 36.22"
3	2141-862-1	10.784	20 00 48.159	+22° 48' 12.20"
4	2141-1828-1	12.154	20 00 44.108	+22° 35' 13.08"



Slika 1. Kriva sjaja zvezde HD 189733 za vreme tranzita. Puna linija predstavlja najbolji fit merenja funkcijom (1)

Figure 2. Light curve of HD 189733 during the minimum. The solid line represent the best fit of measuring data by function (1).



Slika 2. Odstupanje vrednosti trenutka tranzita od izračunate efemeride

Figure 2. Transit time difference from the derived ephemeris

Trenutak centralnog tranzita ekstrasolame planete dobijen fitovanjem krive sjaja funkcijom (1) je:

$$T_{tr} = 2453984.3616 \pm 0.0006 \text{ (HJD)}.$$

Na osnovu ovog i prethodno objavljenih posmatranja određene su efemeride tako što je za nultu epohu uzeta medijana korišćenih trenutaka tranzita:

$$T_0 = 2453644.9243 \pm 0.0004 \text{ (HJD)} + E \cdot P,$$

$$P = 2.21855 \pm 0.00002 \text{ dana},$$

gde je  $E$  broj epoha, a  $P$  period planete.

Efemeride preuzete iz najnovijeg rada o ovoj ekstrasolarnoj planeti (Bakos *et al.* 2006) su:

$$T_0 = 2453629.39420 \pm 0.0003 \text{ (HJD)} + E \cdot P,$$

$$P = 2.218573 \pm 0.000020 \text{ dana}$$

gde je  $E$  broj epoha, a  $P$  period planete.

Odstupanja trenutaka tranzita dobijenih iz posmatranja od dobijene vrednosti efemerida prikazana su na slici 2.

## Diskusija i zaključak

U proteklih par godina izvršena su preciznija fotometrijska posmatranja od strane niza autora (Bouchy *et al.* 2005; Hebrard i Lecavelier 2005; Bakos *et al.* 2006), tako da su dobro određeni geometrijski i fizički parametri ovog sistema. Zato je bilo moguće iskoristiti unapred poznatu krivu sjaja za tranzit na posmatračkom materijalu koji nije kompletan i manje precizan da bi se dobili dovoljno precizni trenutci centralnog tranzita.

Greška dobijena pri računanju trenutka centralnog tranzita je 0.0006 dana (manja od jednog minuta), dok su greške u radovima gore navedenih autora istog i višeg reda veličine.

Očigledan linearni pad sjaja zvezde u toku vremena može se objasniti kretanjem zvezde ka horizontu i povećanjem spektralno selektivne atmosferske ekstinkcije za poredbene zvezde različitih spektralnih tipova.

Preciznost bi se mogla povećati korišćenjem fotometrijskih filtera za umanjenje sistematskih efekata koji potiču od spektralne selektivnosti atmosfere, kao i produživanjem ekspozicije kako bi se smanjile greške koje potiču od scintilacije zvezda usled turbulencije u atmosferi.

Imajući u vidu to da je ovaj sistem relativno skoro otkriven imalo bi smisla nastaviti sa praćenjem tranzita ove planete kako bi se proverilo da li dolazi do odstupanja perioda revolucije što bi dovelo do otkrića novih planeta u ovom sistemu.

**Zahvalnost.** Zahvaljujemo se Igoru Smoliću, našem mentoru, bez čije pomoći ovaj rad ne bi bio realizovan, kao i Vladimiru Beniškemu na pomoći tokom snimanja.

## Literatura

Bouchy F., Udry S., Mayor M., Moutou C., Pont F., Iribarne N., Da Silva R., Ilovaisky S., Queloz D., Santos N. C., Ségransan D., Zucker S. 2005. ELODIE metallicity-biased search for transiting Hot Jupiters. II. A very hot Jupiter transiting the bright K star HD 189733. *Astronomy and Astrophysics*, **444**: L15.

Bakos G. Á., Knutson H., Pont F., Moutou C., Charbonneau D., Shporer A., Bouchy F., Everett M., Hergenrother C., Latham D. W., Mayor M., Mazeh T., Noyes R. W., Queloz D., Pál A., Udry S. 2006. Refined Parameters of the Planet Orbiting HD 189733. *The Astrophysical Journal*, **650**: 1160.

---

*Andrej Obuljen and Biljana Knežević*

## Transit Detection of Extra-Solar Planet HD189733b

In 2005 Bouchy *et al.* announced the discovery of very hot Jupiter transiting the star HD189733. That is one of the ten known transiting extra-solar planets in a total of more than 200 other extra-solar planets discovered. Most of the transiting extra-solar planets were discovered using the method of radial velocities combined with photometric transit method in which one measures the drop of stellar brightness during the planets transit. In this paper we report a photometric transit observation of extra-solar planet HD189733b. Using the method of differential photometry, a transit light curve was constructed. Since the physical and geometrical parameters of this system has been well determined recently (Bakos *et al.* 2006), the shape of function describing this transit is known. That is why we were able to use an empirical function, based on results from previous works, to model our incomplete light curve (due to unstable weather conditions) and determine the time of central transit with normal range accuracy of 0.0006 days (less than one minute). Combining this with times from previous works, we calculate new ephemerides:  $T_0 = 2453644.9243 \pm 0.0004$  (HJD) +  $E \cdot P$ ,  $P = 2.21855 \pm 0.00002$  days.

