



УДК 523

## Переменность спектральных линий экзопланетной системы HD189733 во время транзита

Я.О. Шляхецкая, Ю.Г. Кузнецова, А.П. Видьмаченко, В.Н. Крушевская

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины

*В работе представлены результаты обработки и анализа спектральных наблюдений экзопланетной системы HD189733. Система состоит из звезды спектрального класса K1–K2 и одной внесолнечной планеты, проходящей транзитом по диску звезды. Четыре спектра объекта получены с разрешением  $R = 45\,000$  с помощью куде-эшелле спектрографа, расположенного на 2-метровом зеркальном телескопе Zeiss-2000 обсерватории пика Терскол. Обнаружено увеличение центральной глубины и эквивалентной ширины абсорбционных линий H $\alpha$ , H $\beta$ , H $\gamma$ , H $\delta$ , H & K CaII, Na I D2 & D1 в спектрах, полученных во время транзита и сразу после него, по сравнению с наблюдательными данными, полученными в течение 30 минут непосредственно перед началом транзита планеты по диску звезды. Во всех полученных спектрах зарегистрированы центральные эмиссии в линиях H & K CaII.*

*ЗМІННІСТЬ СПЕКТРАЛЬНИХ ЛІНІЙ ЕКЗОПЛАНЕТНОЇ СИСТЕМИ HD189733 ПІД ЧАС ТРАНЗИТУ, Шляхецька Я.О., Кузнецова Ю.Г., Видьмаченко А.П., Крушевська В.М. — В роботі представлені результати обробки та аналізу спектральних спостережень екзопланетної системи HD189733. Система складається із зорі спектрального класу K1–K2 і однієї позасонячної планети, що проходить транзитом по диску зорі. Чотири спектри об'єкта отримано із роздільною здатністю  $R = 45\,000$  за допомогою куде-ешелле спектрографа, розташованого на 2-метровому дзеркальному телескопі Zeiss-2000 обсерваторії піку Терскол. Знайдено зростання центральної глибини і еквівалентної ширини абсорбційних ліній H $\alpha$ , H $\beta$ , H $\gamma$ , H $\delta$ , H & K CaII, Na I D2 & D1 в спектрах, отриманих під час транзиту і одразу після нього, порівняно зі спостережними даними, отриманими протягом 30 хвилин безпосередньо перед початком транзиту планети по диску зорі. В усіх отриманих спектрах зареєстровано центральні емісії в лініях H & K CaII.*

*VARIABILITY OF SPECTRAL LINES OF EXTRASOLAR SYSTEM HD189733 DURING A TRANSIT, Shliakhetska Y., Kuznyetsova Y., Vidmachenko A., Krushevskaya V. — The results of processing and analysis of spectral observations of exoplanet system HD189733 are presented in the paper. The system consists of spectral type K1–K2 star and one extrasolar planet transiting across the star disk. Four object spectra were obtained with spectral resolution  $R = 45\,000$ . High resolution coude-echelle spectrograph locating on the 2-meter mirror telescope Zeiss-2000 at the peak Terskol Observatory was used. It was detected increasing of depth and equivalent width of absorbing lines H $\alpha$ , H $\beta$ , H $\gamma$ , H $\delta$ , H & K CaII, Na I D2 & D1 in spectra obtaining during transit and directly after that as compared with spectra obtaining during 30 minutes immediately before transit. Central emissions in H & K CaII lines were detected in all obtaining spectra.*

**Ключевые слова:** HD189733; спектральные линии; экзопланеты; транзит.

**Key words:** HD189733; spectral lines; exoplanets; transit.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Система HD189733, состоящая из звезды главной последовательности класса K1–K2 и одной транзитной планеты-гиганта, открыта в 2005 году [2, 11]. Внесолнечная планета HD189733b имеет большой радиус ( $1.138R_{\text{Юп}}$ ) и низкую плотность. Она является представителем планет типа горячих Юпитеров (температура атмосферы достигает  $1200^\circ\text{K}$ ) и, поскольку находится очень близко к родительской звезде (большая полуось орбиты 0.031 а.е.), период ее вращения составляет 2.22 суток [1].

Целью работы является исследование поведения таких параметров спектральных линий, как интенсивность, эквивалентная ширина и профили наиболее мощных Фраунгоферовых линий в спектре H & K CaII, Na I D2 & D1, а так же линий водорода H $\alpha$ , H $\beta$ , H $\gamma$ , H $\delta$  во время транзитного прохождения планеты по диску звезды.

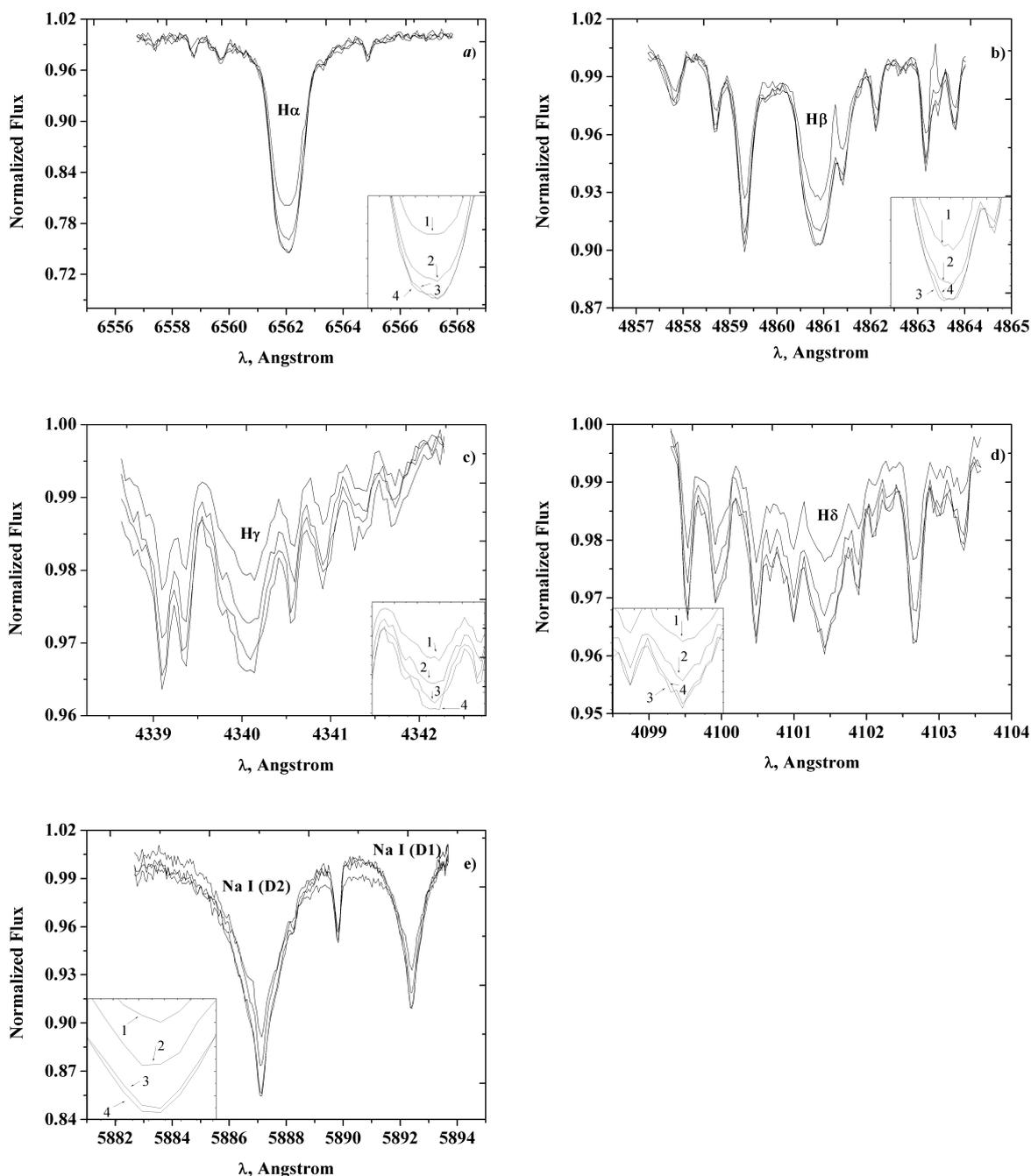
### 2. НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Спектральные наблюдения проводились на 2-метровом зеркальном телескопе Zeiss-2000 с помощью куде-эшелле спектрометра [6] в обсерватории пика Терскол. Данные получены со спектральным разрешением  $R = 45\,000$ . Четыре последовательных во времени спектры HD189733 получены 27 апреля 2009 года в диапазоне длин волн 3800–9800Å: один непосредственно перед началом транзита, два в течение транзита и один сразу же после окончания транзита. Время экспозиции для каждого спектра составляло 1800 секунд, размер чипа ПЗС-матрицы —  $1024 \times 1024$  пикселя. В качестве звезды сравнения использовалась звезда-стандарт солнечного типа 16 Cyg A (HD186408) [3], для которой получены два спектра. Отношение сигнал/шум составляло  $S/N = 700$  в УФ-области спектра и  $S/N = 400$  в ИК-области.

Обработка полученных спектральных данных проводилась с использованием пакетов программ DECH95 и DECH20T (Г.Галазутдинов, САО РАН), которые позволяют обрабатывать спектральные данные, полученные в режимах эшелле и в классическом. Все последующие расчеты различных параметров спектральных линий при анализе их изменения во времени проводилось в программе DECH20T.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Наши исследования касаются поведения мощных спектральных линий в течение 109.6-минутного явления транзита непосредственно до его начала и после окончания [9, 10]. На рис. 1 представлены результаты исследования вариаций их интенсивностей ( $I$ ), эквивалентных ширин ( $EW$ ) и профилей. Каждый порядок спектра был нормирован к единичному уровню. Длины волн исследуемых линий имеют такие значения:  $H\alpha$  (6562.808Å),  $H\beta$  (4861.342Å),  $H\gamma$  (4340.475Å),  $H\delta$  (4101.748Å),  $H$  CaII (3968.492Å),  $K$  CaII (3933.682Å),  $Na$  I (D2) (5889.973Å),  $Na$  I (D1) (5895.940Å). Нумерация спектральных кривых соответствует моментам: 1 — непосредственно перед началом транзита; 2 — середина транзита; 3 — последняя треть транзита; 4 — непосредственно после окончания транзита.



**Рис. 1.** Последовательные временные вариации нормированных относительных интенсивностей и  $EW$  для линий  $H\alpha$ ,  $H\beta$ ,  $H\gamma$ ,  $H\delta$ ,  $Na$  I D2&D1

**Таблица 1.** Вариации относительных интенсивностей спектральных линий

№ эксп.	H $\alpha$ 6562.808	NaI (D1) 5895.940	NaI (D2) 5889.973	H $\beta$ 4861.342	H $\gamma$ 4340.475	H $\delta$ 4101.748	H CaII 3968.492	K CaII 3933.682
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1.206	1.204	1.162	1.215	1.251	1.391	1.373	2.063
3	1.281	1.350	1.322	1.324	1.384	1.668	2.031	2.514
4	1.279	1.355	1.348	1.315	1.566	1.618	2.242	2.261

**Таблица 2.** Вариации величин EW спектральных линий

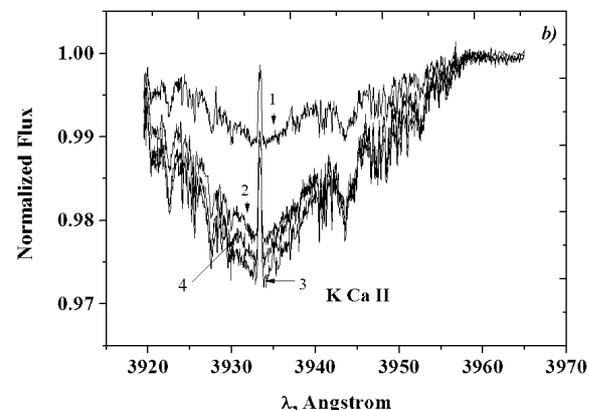
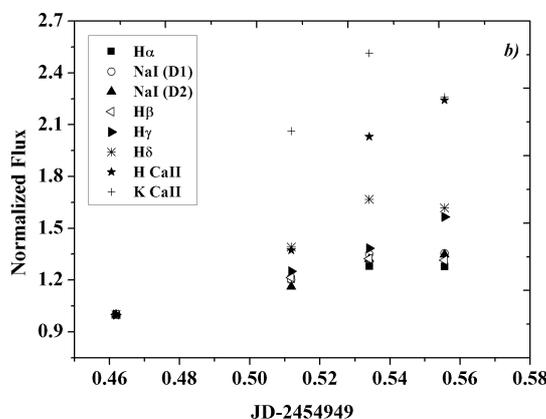
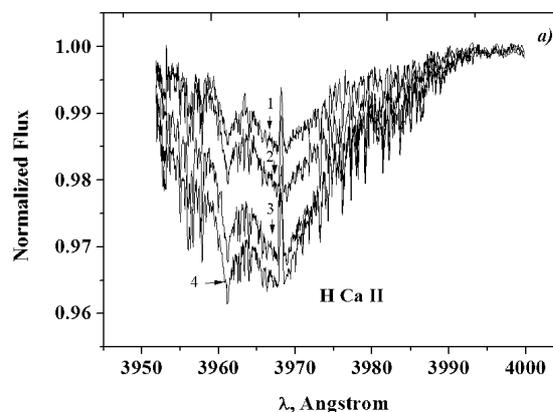
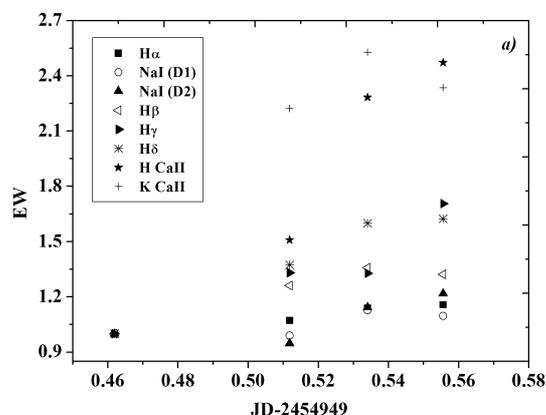
№ эксп.	H $\alpha$ 6562.808	NaI (D1) 5895.940	NaI (D2) 5889.973	H $\beta$ 4861.342	H $\gamma$ 4340.475	H $\delta$ 4101.748	H CaII 3968.492	K CaII 3933.682
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1.072	0.990	0.948	1.262	1.331	1.373	1.509	2.224
3	1.139	1.128	1.144	1.359	1.328	1.601	2.284	2.529
4	1.158	1.097	1.218	1.322	1.706	1.624	2.473	2.336

**Таблица 3.** Оценки вариаций интенсивностей центральных эмиссий абсорбционных линий H & K CaII

№ эксп.	$\frac{I-I_0}{I_0}, \%$		$\frac{I-I_1}{I_1}, \%$	
	H CaII	K CaII	H CaII	K CaII
1	0.9	0.9	0	0
2	1.1	1.2	22	44
3	1.4	1.4	44	55
4	1.5	1.5	55	66

В табл. 1 приведены вариации относительных центральных интенсивностей выбранных линий поглощения в течение явления транзита. За единицу принимался уровень интенсивности соответствующей линии во время первой экспозиции. В табл. 2 приведены вариации относительных значений EW этих же линий, оценки которых проведены методом прямого интегрирования.

По данным табл. 1, 2 на рис. 2а, 2б представлены временные вариации значений величин относительной интенсивности и эквивалентной ширины соответственно на протяжении явления транзита.



**Рис. 2.** Временные вариации относительной интенсивности (а) и EW (б) выбранных линий на протяжении транзита; время в юлианских датах (JD-2454949)

**Рис. 3.** Относительные нормированные спектры системы HD189733 в области линий H CaII (а) и K CaII (б). Временные вариации в течение транзита.

При исследовании линий H & K CaII обнаружены мощные центральные эмиссии в их абсорбционных ядрах, общий вид которых представлен на рис. 3.

Численные оценки вариаций интенсивностей центральных эмиссий ( $I$ ) относительно интенсивностей соответствующих им абсорбционных линий ( $I_0$ ), нормированных на единицу, приведены в табл. 3. Там же указаны вариации интенсивностей центральных эмиссий ( $I$ ) за время транзита; при этом за единицу принималась интенсивность центральной эмиссии соответствующей линии во время первой экспозиции ( $I_1$ ).

Эмиссии в абсорбционных линиях H & K CaII найдены в каждом спектре, полученном в течение транзита. Это подтверждает аналогичный эффект, зарегистрированный для этого же объекта по наблюдениям 2008 г. [8], где наличие эмиссий в центре линий кальция рассматривается как индикатор хромосферной активности центральной звезды.

Спектральные наблюдения других звезд с экзопланетами типа горячих Юпитеров [4, 5, 7] показали, что периодичность изменений параметров таких индикаторов хромосферной активности, как эмиссии в линиях H & K CaII и H $\alpha$  иногда совпадает с орбитальным периодом экзопланеты, а иногда с периодом вращения звезды [5]. Предполагается, что влияние близкорасположенных массивных экзопланет может значительно повышать хромосферную активность центральной звезды [3, 4, 7]. Вероятно, такое влияние является результатом приливного и/или магнитного воздействия на главную звезду со стороны ближайших планет. Поэтому хромосферная активность должна в значительной степени зависеть от магнитного поля родительской звезды, магнитного поля планеты и отношения ее орбитального радиуса к Альевенскому радиусу звезды.

#### 4. ВЫВОДЫ

1. По четырем спектрам транзитной системы HD189733 проведен анализ поведения ряда абсорбционных линий в течение явления транзита. За время наблюдений отмечен последовательный рост относительной центральной глубины эквивалентной ширины для всех исследуемых линий.
2. В спектрах, полученных в конце транзита и сразу после его окончания, наблюдается максимальное увеличение относительной глубины и эквивалентной ширины абсорбционных линий H & K CaII, Na I D2&D1, а также линий водорода H $\alpha$ , H $\beta$ , H $\gamma$ , H $\delta$ . Мы предполагаем, что этот факт можно объяснить наличием мощного атомарно-молекулярного атмосферного шлейфа, образованного в процессе диссипации атмосферы планеты. Его существование обусловлено близким расположением планеты-гиганта к центральной звезде, вследствие чего атмосфера планеты разогревается до высоких температур порядка 1000° K.
3. Существенные вариации формы исследуемых спектральных линий за время транзита не обнаружены. Найдены изменения в центрах абсорбционных ядер линий в пределах нескольких процентов от их центральных интенсивностей.
4. В каждом из четырех спектров обнаружены мощные центральные эмиссии в спектральных линиях H & K CaII, которые являются одним из индикаторов хромосферной активности центральной звезды. Зарегистрированы изменения относительной интенсивности указанных центральных эмиссий в течение транзита.
5. Определена корреляция роста величин интенсивности и эквивалентной ширины для ряда спектральных линий поглощения, а именно H $\alpha$ , H $\beta$ , H $\gamma$ , H $\delta$ , NaI D2&D1. Однако подобного соответствия с изменением величин интенсивности центральных эмиссий в спектральных линиях H & K CaII не наблюдается.

1. *Bakos G.A., Knutson H., et al.* Refined parameters of the planet orbiting HD 189733 // *The Astrophysical Journal*. — 2006. — **650**. — P. 1160–1171.
2. *Bouchy F., Udry S., Mayor M., et al.* ELODIE metallicity-biased search for transiting Hot Jupiters II: A very hot Jupiter transiting the bright K star HD 189733 // *Astron. & Astrophys.* — 2005. — **444**. — P. L15–L19.
3. *Hardorp J.* The Sun among the stars. I. A search for Solar spectral analogs // *Astron. & Astrophys.* — 1978. — **63**. — P. 383–390.
4. *Hall J.C., Lockwood G.W., Skiff B.A.* The activity and variability of the Sun and Sun-like stars. I. Synoptic Ca II H and K observations // *The Astronomical Journal*. — 2007. — **880**. — P. 862–881.
5. *Moutou C., Donati J.-F., et al.* Spectropolarimetric observations of the transiting planetary system of the K dwarf HD 189733 // *Astron. & Astrophys.* — 2007. — **473**, № 2. — P. 651–660.
6. *Musaev F., Galazutdinov G., Sergeev A., et al.* Coudé echelle spectrometer for the Terskol 2-meter telescope // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. — 1999. — **15**, No. 3. — P. 216–219.
7. *Saar S.H., Cuntz M.* A search for Ca II emission enhancement in stars resulting from nearby giant planets // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2001. — **325**. — P. 55–59.

8. *Shkolnik E., Bohlender D., Walker G., et al.* The On/Off nature of star-planet interactions in the HD 179949 and *v* And systems // *Exoplanets: Detection, Formation and Dynamics, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium — 2008.* — **249.** — P. 151–158.
9. *Shliakhetskaya Ya., Kuznyetsova Yu., Vidmachenko A.* Spectral studies of the transit system HD 189733 // 19th Open Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics, April 23–28, 2012, Kyiv, Ukraine. — P.19.
10. *Shliakhetska Y., Kuznyetsova Y., Vid'machenko A.* Spectral Researches of Exoplanet Transit Systems HD189733 and WASP-33 During Some Transit Phenomena // 22nd Annual Student Conference. Prague, Czech Republic 2013, June 4–7, 2013.
11. *Vidmachenko A.P., Ivanov Yu.S., Kostogryz N.M.* Spectropolarimetric Observations of Transiting Extrasolar Planetary System HD189733 // 43rd Lunar and Planetary Science Conference, held March 19-23, 2012 at The Woodlands, Texas. — 03/2012. — LPI Contribution No. 1659, id.1280. — P. 1–2.

Поступила в редакцию 24.08.2014