

# Aktivní hvězdy s exoplanetami

## případ erupce na HD 189733

Tereza Klocová

Astronomický ústav AV, Ondřejov

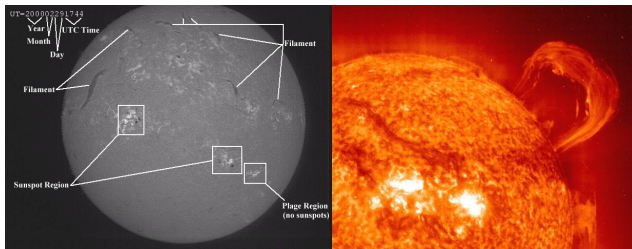
21.března 2017

Astronomický ústav SAV

# Aktivita hvězd

Souhrnný pojem používaný pro popis jevů spojených s přítomností magnetického pole v chladných hvězdách (A-M)

- ▶ Ovlivňuje všechny atmosférické vrstvy
- ▶ Skvrny, erupce, koronální výrony hmoty, protuberance atd.
- ▶ Všechny časové škály

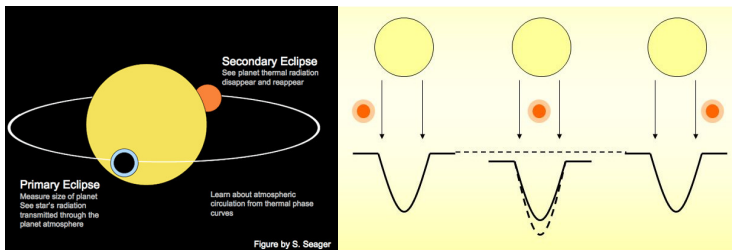


Mohou ovlivnit jak fotometrické měření tak jednotlivé spektrální čáry

# Transmisní spektroskopie

## Spektroskopie s vysokým rozlišením

### Metoda objevování exoplanetárních atmosfér



- ▶ Použitelná pro tranzitující exoplanety
- ▶ Dodatečná absorpce světla hvězdy v planetární atmosféře

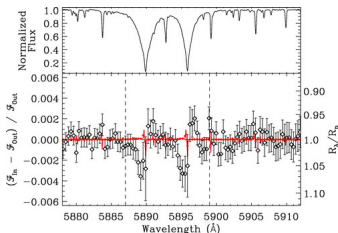
# Transmisní spektroskopie

Modelováno *Seager & Sasselov 2000*

- ▶ Poměr ploch atmosféry planety k celkové ploše hvězdy  $\sim 10^{-3} - 10^{-4}$ 
  - ▶ Pokles toku způsobený atmosférou -  $10^{-4}$  vzhledem ke kontinuu
- ▶ Nejvýraznější změny v silných spektrálních čarách - čáry alkalických kovů: NaI and KI rezonanční dublety

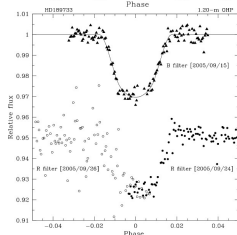
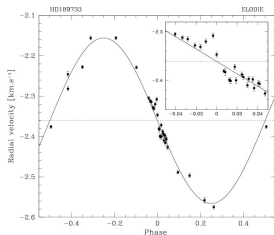
Pozorováno např. v systému HD 189733b (Redfield 2008)

- ▶ Objev sodíku v atmosféře exoplanety v pozemském pozorování (5890, 5896 Å)



# Tranzitující exoplanetární systém HD 189733

K1V hvězda + Horký Jupiter



## Hvězda

( $V=7.65$ )

$T_{\text{eff}}$  [K]  $5040 \pm 50$

$v \sin(i)$  [km s<sup>-1</sup>]  $3.5 \pm 1$

Věk [Gyr] 0.6

$M_*$  [ $M_{\odot}$ ]  $0.8 \pm 0.048$

$R_*$  [ $R_{\odot}$ ]  $0.756 \pm 0.018$

## Planeta

$P_{\text{orb}}$  [d]  $2.2 \pm 1.5 \times 10^{-7}$

$T_{\text{dur}}$  [d]  $0.076 \pm 0.0017$

$M_p$  [ $M_{\text{Jup}}$ ]  $1.144^{+0.057}_{-0.056}$

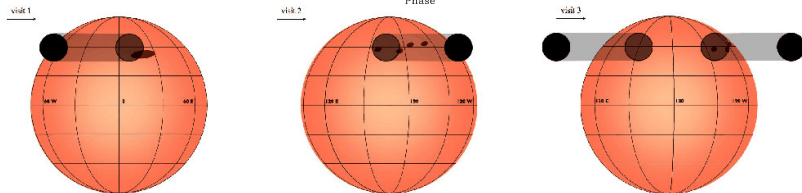
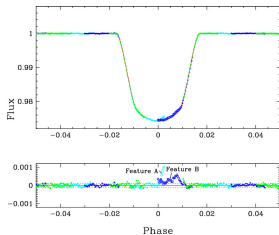
$R_p$  [ $R_{\text{Jup}}$ ]  $1.138 \pm 0.027$

Torres, G. et al. 2008, ApJ, 677, 1324, Melo, C. et al. 2006, A&A, 460, 251

# HD 189733 je aktivní hvězda

HST pozorování skvrn na povrchu hvězdy

- ▶ velikost komplexu skvrn  $> 80\,000$  km
- ▶ 3 primární tranzity

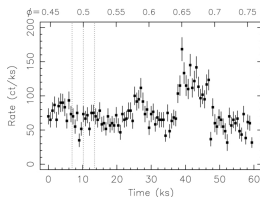


Pont et al. 2007, 476,1347

# HD 189733 je aktivní hvězda

Erupce pozorované v rentgenovém oboru s

- ▶ *XMM-Newton*
  - ▶ k erupci došlo po sekundárním tranzitu



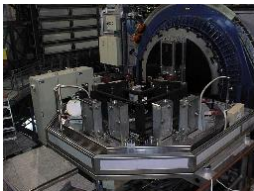
- ▶ Swift XRT pozorování
  - ▶ erupce nastala 8 hodin před primárním tranzitem

*Pillitteri et al. 2010, 2011, 2014*

*Lecavelier des Etangs et al. 2012, 543, L4*

# Pozorování erupce na HD 189733 s UVES/ESO

- ▶ UVES - optický spektrograf s vysokým rozlišením  $R \sim 60,000$
- ▶ 4 hodiny pozorování
- ▶ 244 spekter co pokrývají jeden planetární tranzit
- ▶ časové rozlišení 1 min
- ▶ spektrální pokrytí: 370-950 nm



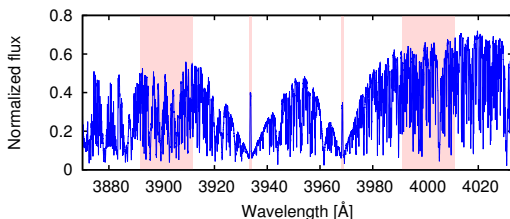


## Indikátory chromosférické aktivity

- ▶ **Ca II K & H** čáry (3933.7, 3968.5 Å)
  - ▶ mohou vykazovat výrazné emisní jádra čar
  - ▶ dlouhodobá studie hvězdné aktivity (Wilson 1968)
- ▶ Balmerovy čáry: **H $\alpha$**  (6562.8 Å), **H $\beta$**  (4861 Å), **H $\gamma$** , etc
- ▶ **Ca II IR** triplet (8498, 8542 and 8662 Å)
- ▶ **Na I D1** and **D2** čáry (5896, 5890 Å)

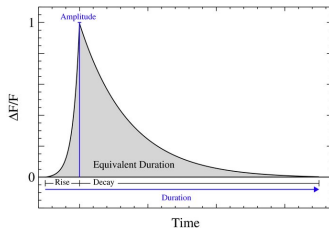
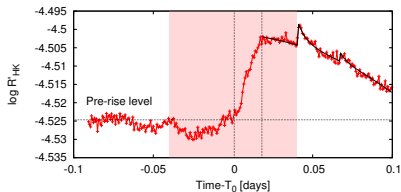
# Analýza čar Ca II H & K; $R'_{HK}$ index

- ▶  $\log R'_{HK}$  = indikátor chromosférické aktivity
  - ▶ odstraněn fotosferický příspěvek
  - ▶ vychází z Mt. Wilsonova S-indexu:  $S = \frac{F_H + F_K}{C_L + C_R}$ 
    - $F_H$  a  $F_K$  jsou 1 Å intervaly se středem v jádrech čar
    - $C_L$  a  $C_R$  jsou 20 Å referenční intervaly toku



*Noyes et al. 1984, ApJ, 677, 1324; Melo, C. et al. 200, A&A, 460, 251*

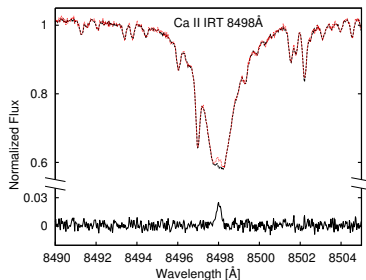
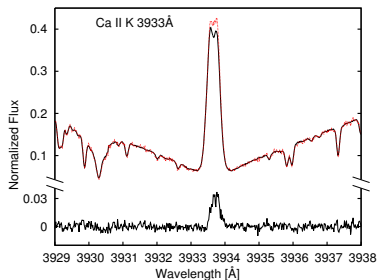
# Analyza čar Ca II H & K; $R'_{HK}$ index



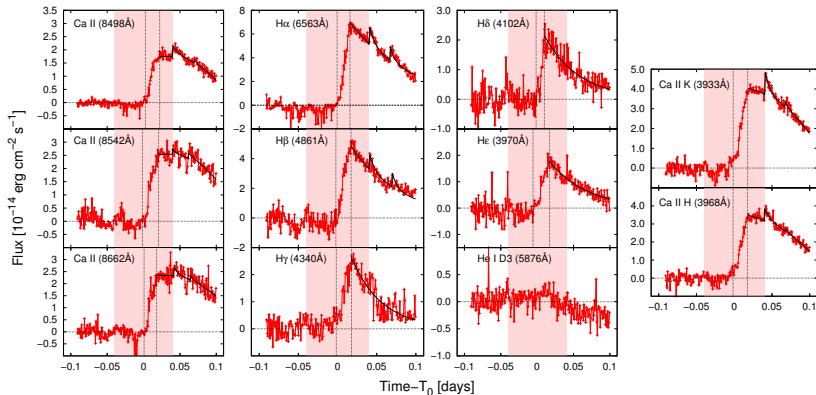
- ▶ Trvání impulzní fáze: 24 min
- ▶ Celková energie:  $10^{31}$  erg

# Analýza reziduí chromosférického toku

- ▶ Klidná fáze - průměr z prvních 40 spekter
- ▶ Rezidua - odečtení klidného spektra
- ▶ Fitování reziduí Gaussovou funkcí
- ▶ Výpočet *nadbytečné ekvivalentní šířky*



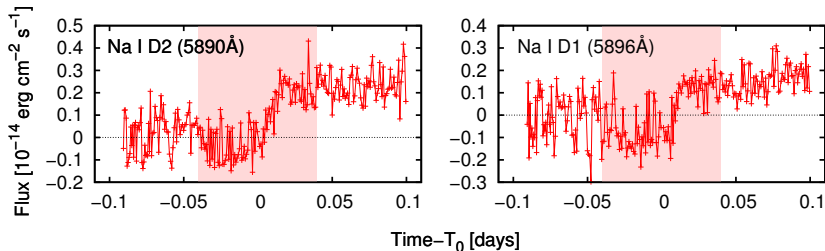
# Vývoj erupce v jádrech studovaných čar



- ▶ Celková energie uvolněná při erupci ve všech studovaných čarách:  $9 \times 10^{31}$  erg
- ▶ Délka trvání: 2 hodiny
- ▶ Tato erupce je porovnatelná s nejenergetičtějšími erupcemi na Slunci
- ▶ Energie slunečních erupcí:  $10^{29} - 10^{32}$  erg (Priest 2004)
- ▶ Erupce na hvězdách typ M - až do  $10^{34}$  erg

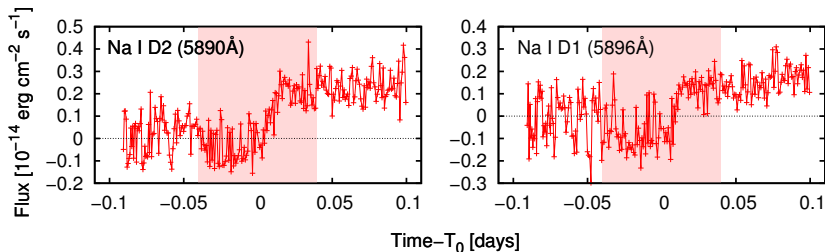
# Erupce v čarách Na I D1 and D2 lines

Vývoj jader sodíkových čar během erupce



# Erupce v čarách Na I D1 and D2 lines

Vývoj jader sodíkových čar během erupce

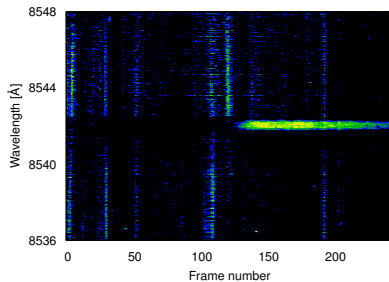
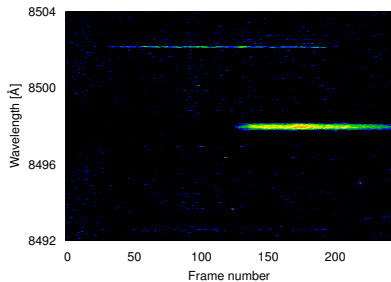


- ▶ Čáry sodíku D1 and D2 se používají při transmisní spektroskopii k objevování exoplanetárních atmosfér (např. Redfield et al. 2008)



- ▶ HD 189733 je „velmi“ aktivní hvězda s exoplanetou
- ▶ Aktivní hvězdy - změny v jádrech chromosferických čar
- ▶ Erupce jsou nepředvídatelné
- ▶ Práce: Khalafinejad et al. 2006 - objev atmosférického sodíku v tomto souboru dat

# DĚKUJI VÁM ZA POZORNOST



2d vývoj erupce ve dvou vybraných čarách Ca II IR tripletu (8498 and 8542 Å)

# Hledáme PhD studenta

- ▶ Měření radiálních rychlostí hvězd s exoplanetami (2 m Perkův Dalekohled + Ondřejovský Ešeletový spektrograf OES)
- ▶ Spolupráce s observatoří v Tautenburgu; podobný dalekohled jako v Ondřejově
- ▶ 50% úvazek (3 roky) + stipendium
- ▶ Termín: Duben 2017
- ▶ V případě zájmu kontaktujte Petra Kabátha (petr.kabath@asu.cas.cz)



# Podmínky během pozorování

