

# Kísérő okozza-e az EX Lupi fiatal eruptív csillag kitöréseit?

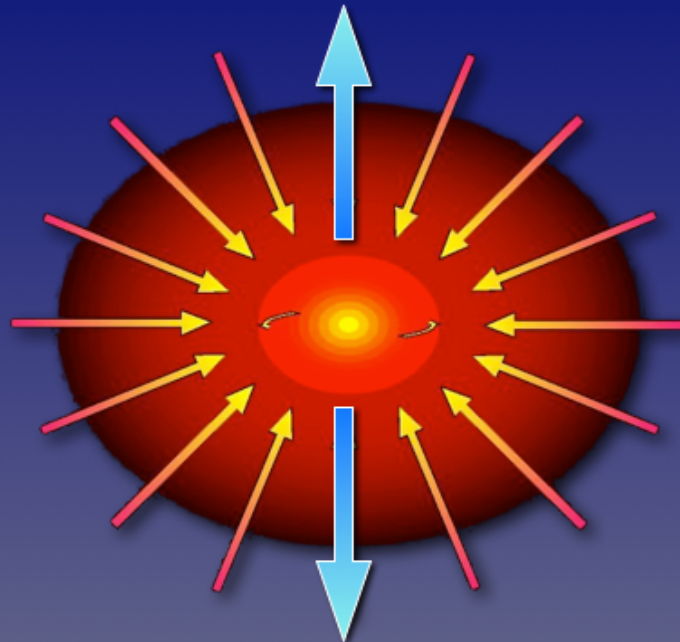
Kóspál Ágnes  
(Európai Űrügynökség)



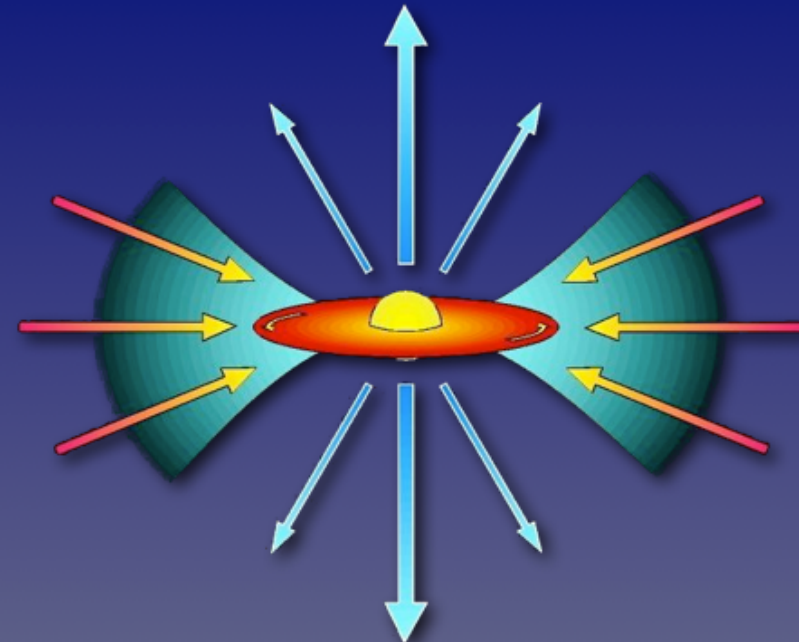
Maren Mohler-Fischer, Aurora Sicilia-Aguilar, Ábrahám Péter, Michel Curé,  
Thomas Henning, Kiss Csaba, Ralf Launhardt, Moór Attila, André Müller

Magyar Csillagászok Találkozója, Galyatető, 2013 szeptember 20

# The isolated star formation paradigm



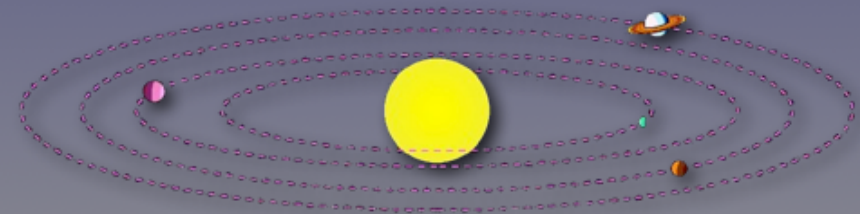
Class 0:  
 $10^4$  yrs;  $10$ - $10^4$  AU;  $10$ - $300$  K



Class I-II:  
 $10^{5-6}$  yrs;  $1$ - $1000$  AU;  $100$ - $3000$  K



Class II-III:  
 $10^{6-7}$  yrs;  $1$ - $100$  AU;  $100$ - $5000$  K

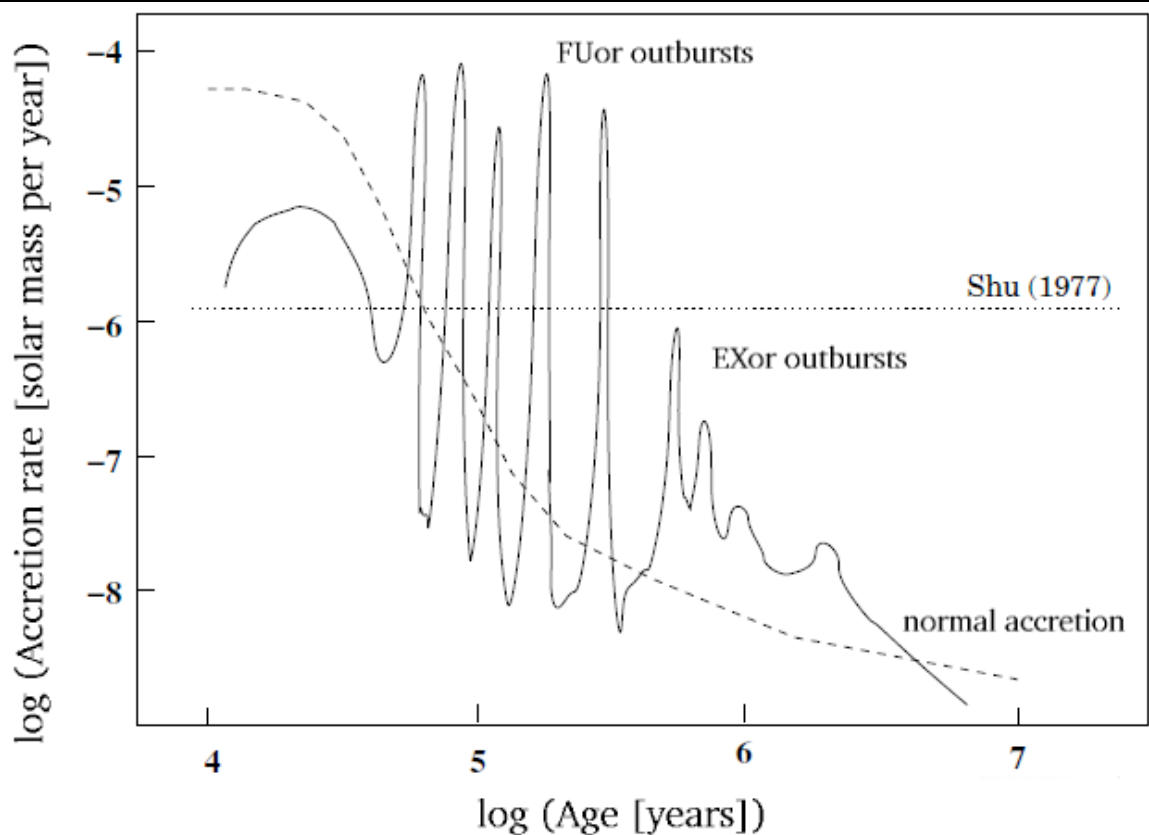


Class IV:  
 $10^{7-9}$  yrs;  $1$ - $100$  AU;  $100$ - $5000$  K

After Shu, Adams, & Lada

(McCaughrean)

# Epizodikus akkréció

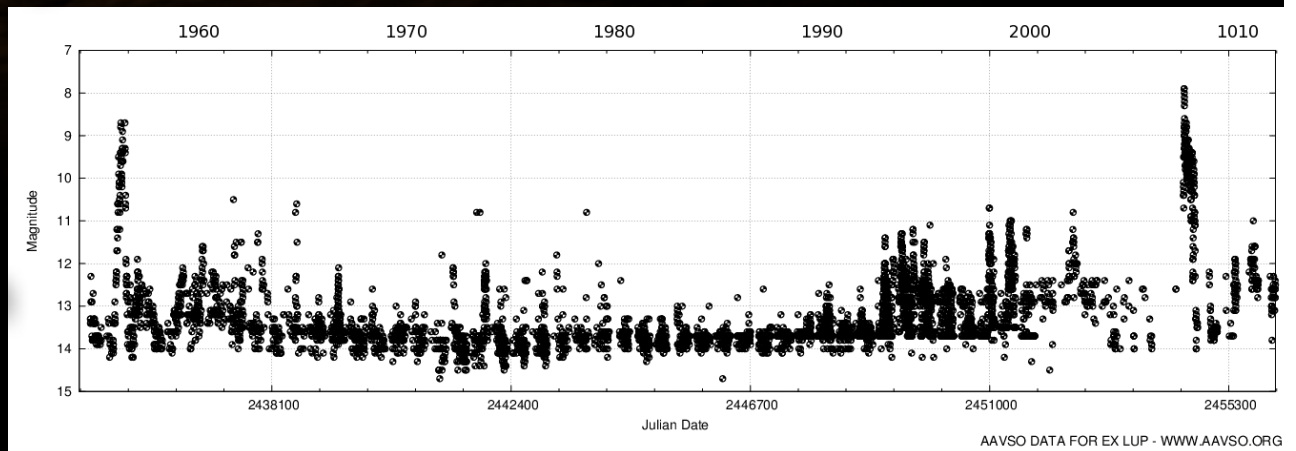


- Az anyag felgyülemlik a csillag közelében
- Termikus instabilitás → ionizációs front
- Az anyag a korong belső részéről ( $<0.1$  AU) hirtelen rázúdul a csillagra
- A megnövekedett akkréció következményeként a csillag kifényesedik
- A fiatal csillagok kitörései ritkák és megjósolhatatlanok

Schulz et al. (1995)

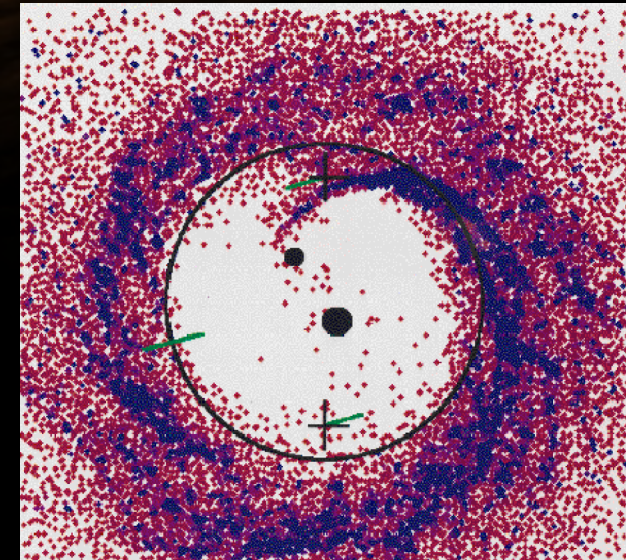
# EX Lup-típusú változók

- **Kitörések:**
  - rövidek (néhány hét – néhány hónap)
  - ismétlődőek (néhány éves időskálán)
  - amplitúdó: 1 – 5 mag
  - akkréciós ráta: max.  $10^{-6} M_{\odot}$  /év
- **Csillagkörüli anyag szerkezete:**
  - nyugalomban olyanok, mint a „normális” T Taurik
- **Statisztika:**
  - jelenleg kb. 10 ismert objektum
- **Prototípus: EX Lup**



# Nyitott kérdések

- **Mi a megszaladó akkréció oka?**
  - csillag vagy szubsztelláris kísérő megperturbálja a korong belső szélét
  - bolygó okozta sűrűség-perturbáció (Lodato & Clarke 2004)
  - szoros kísérő okozta árapályerők (Bonnell & Bastien 1992)
- **Vajon van-e minden EXornak kísérője?**
  - ismert példák: UZ Tau E, VY Tau



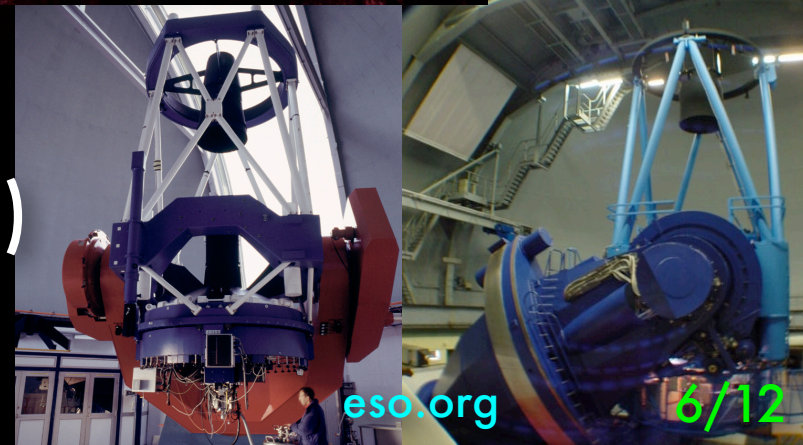
Artymowicz & Lubow (1996)

# Motiváció

- **Trigger mechanizmus:**
  - a kísérőnek a főkomponenshez közel kell keringenie, hogy a korong legbelső részére hatással legyen
  - radiális sebesség (radial velocity, RV) mérések a legalkalmasabbak ilyen kísérők keresésére
- **A legtöbb EXorra nincsenek szisztematikus RV mérések**
  - fiatal, akkretáló/kromoszférikusan aktív csillagokra nehéz RV-t mérni
- **Jelen vizsgálat célja: RV kísérőt keresni a prototípus EX Lup körül**

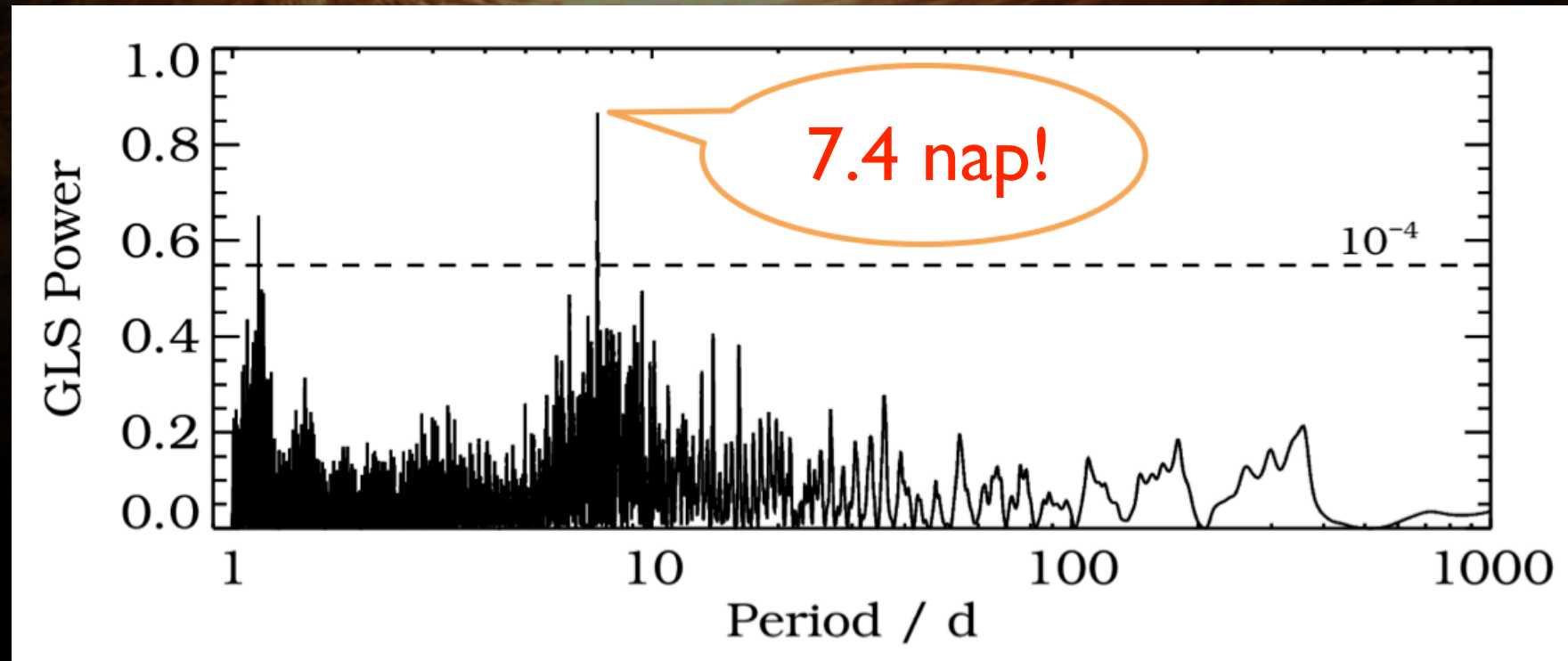
# Észlelések

- **MPG 2.2m/FEROS**
  - 57 échelle spektrum (2007 – 2012),  $R = 48\ 000$
- **ESO 3.6m/HARPS**
  - 10 échelle spektrum (2008 – 2009),  $R = 115\ 000$
- **Az RV meghatározása**
  - kereszt-korreláció M0.5 template spektrummal
  - emissziós vonalak kigyomlálása
- **Optikai és infravörös fénygörbék**
  - 2 hétig minden nap
  - VJHK (REM távcső)
  - 3.6–4.5  $\mu\text{m}$  (Spitzer Űrtávcső)



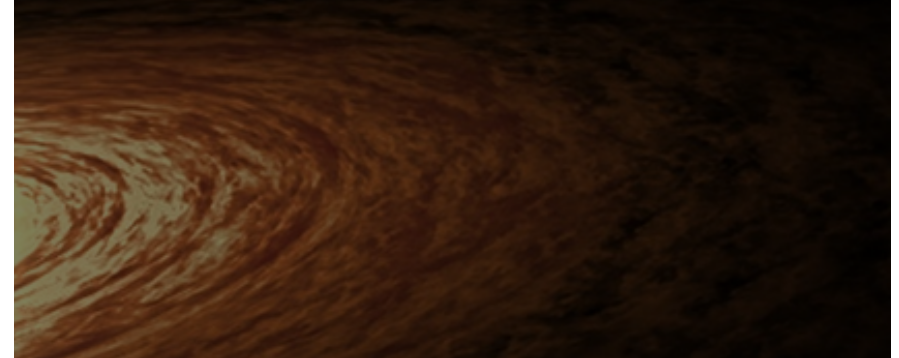
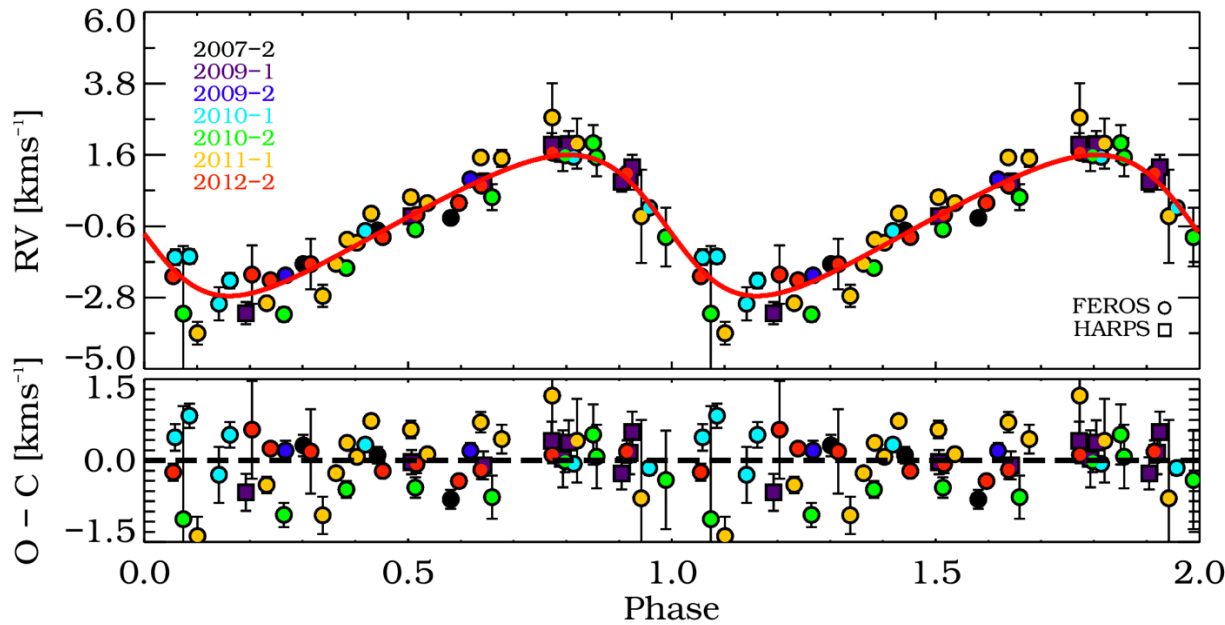
# Periódus-analízis

- Szignifikáns periodikus RV változások
  - RV amplitúdó és fázis 5 éven keresztül stabil
  - lehetséges magyarázat: közeli kísérő excentrikus pályán



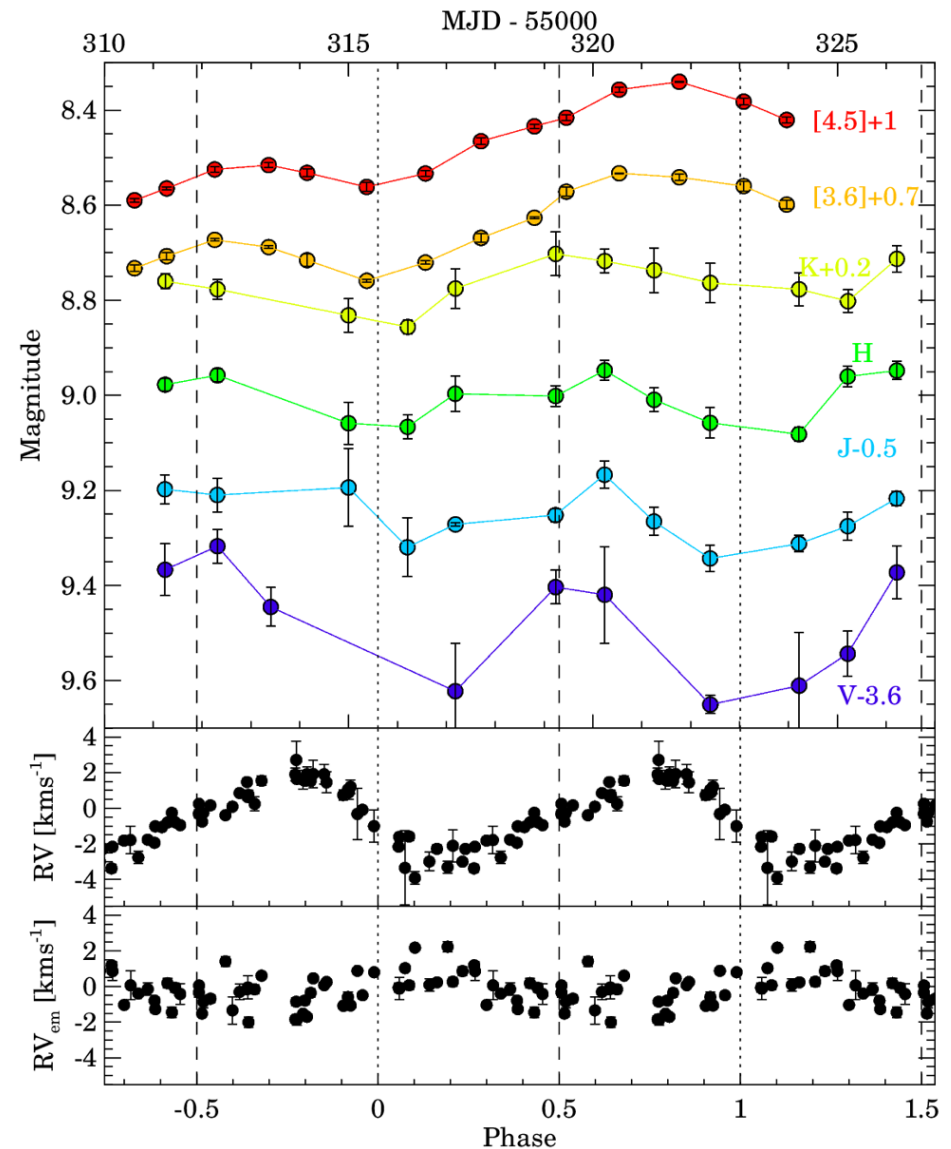
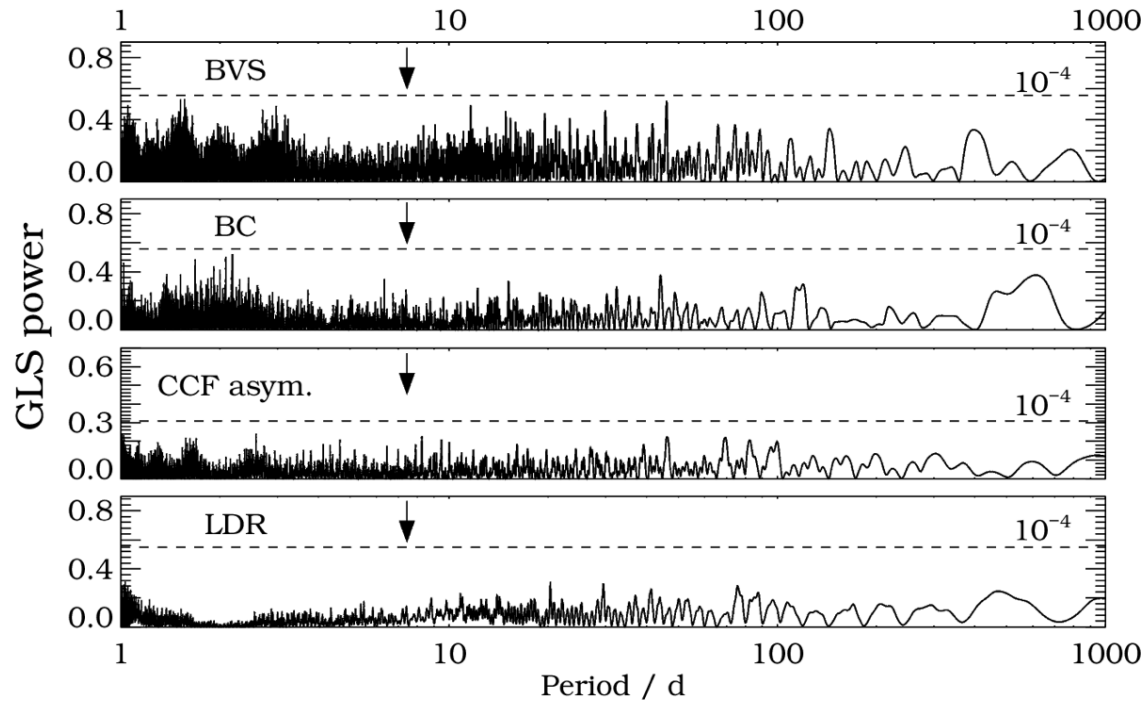


# Kepleri megoldás



Paraméter	Illesztett érték
Periódus	$7.417 \pm 0.001$ nap
RV fél-amplitúdó	$2.18 \pm 0.10$ km s <sup>-1</sup>
Excentricitás	$0.23 \pm 0.05$
Periasztron hosszúsága	$96.8^\circ \pm 11.4^\circ$
Periasztron-átmenet időpontja	$2455405.1 \pm 0.2$
Rendszersebesség	$-0.52 \pm 0.07$ km s <sup>-1</sup>
False alarm probability	$6.7 \times 10^{-27}$
$m \sin i$	$14.7 \pm 0.7$ M <sub>Jupiter</sub>
Fél nagytengely	$0.063 \pm 0.005$ AU

# Aktivitás vagy foltok?



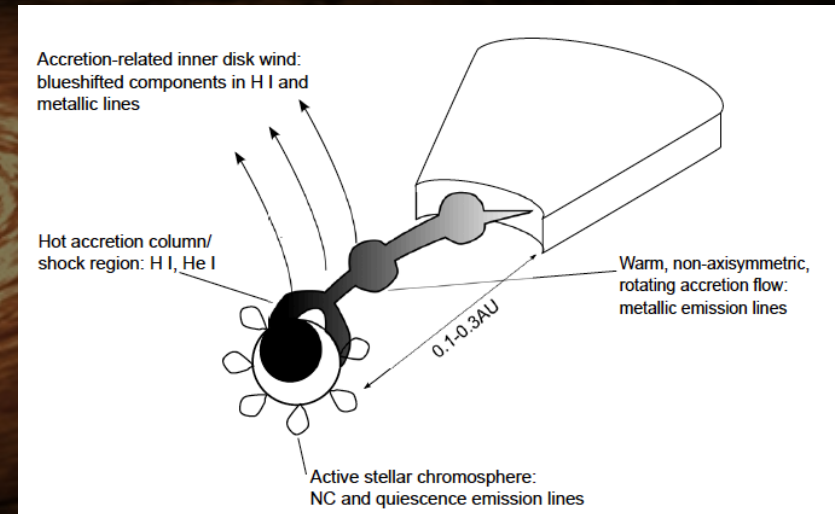
- Aktivitás-indikátorok nem periodikusak
- EX Lup lassan forgó csillag:  $v \sin i < 3 \text{ km/s}$
- Nagy foltok kellene a  $2.2 \text{ km/s}$  RV fél-amplitúdó reprodukálásához
- Ilyen foltok túl nagy fotometriai változásokat okoznának

# Az EX Lup kísérője

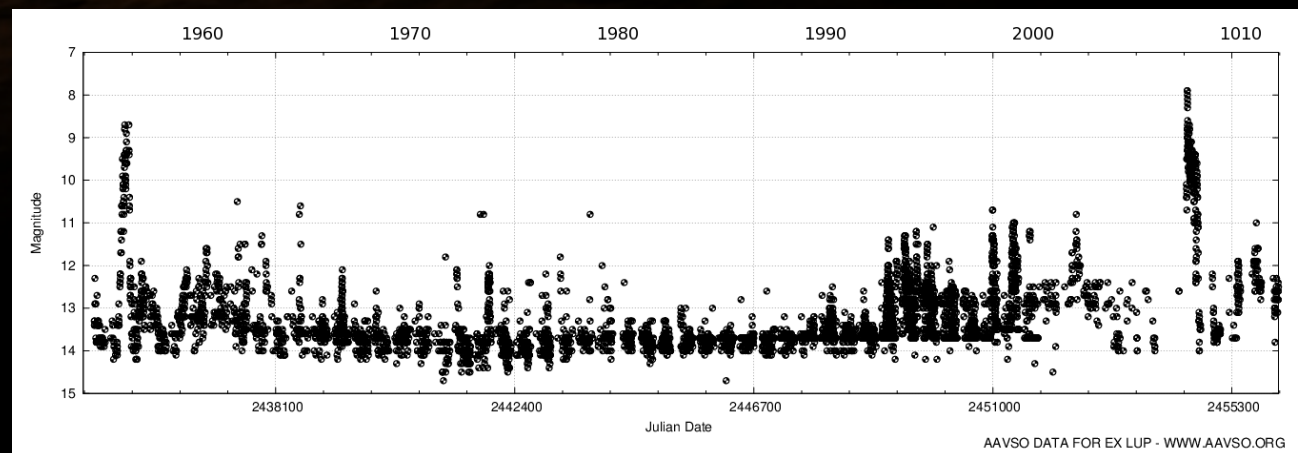
- Legvalószínűbb tömeg:
  - $0.02 M_{\odot} \rightarrow$  barna törpe  $\rightarrow T_{\text{eff}} = 2500 \text{ K}$
- Periasztron és apasztron távolság:
  - $0.049 \text{ AU}$  ( $6.5 R_*$ ) és  $0.078 \text{ AU}$  ( $10.4 R_*$ )
- Helyzete a koronghoz képest:
  - a  $0.2 \text{ AU}$  sugarú pormentes belső lyukban kering
- Szokatlan objektum:
  - Nagyon kicsi a szeparációja (tipikusan  $> 2 \text{ AU}$ )
  - Nap típusú csillagok csak  $0.6\%$ -ának van barna törpe kísérője („barna törpe sivatag”)

# Az EX Lup kísérője

- **Hatása az akkrécióra:**
  - Stabilizálhatja az akkréciós oszlopokat?
  - Előidézhet pulzáló akkréciót?
  - Lehet szerepe a nagy kitörésekben?



(Sicilia-Aguilar et al. 2012)



(AAVSO)

# Az EX Lup irodalma

- Sipos et al.: *EX Lupi in quiescence* (2009, *A&A* 507, 881)
- Ábrahám et al.: *Episodic formation of cometary material in the outburst of a young Sun-like star* (*Nature* 459, 224)
- Goto et al.: *Fundamental vibrational transition of CO during the outburst of EX Lupi in 2008* (2011, *ApJ* 728, 5)
- Kóspál et al.: *Near-infrared spectroscopy of EX Lupi in outburst* (2011, *ApJ* 736, 72)
- Juhász et al.: *The 2008 outburst of EX Lupi – silicate crystals in motion* (2012, *ApJ* 744, 118)
- Sicilia-Aguilar et al.: *Optical spectroscopy of EX Lupi during quiescence and outburst. Infall, wind, and dynamics in the accretion flow* (2012, *A&A* 544, A93)
- Kóspál et al.: *Radial velocity variations in the young eruptive star EX Lup* (*A&A*, submitted)