

Спектральные признаки процесса планетообразования у Ae звезд Хербига

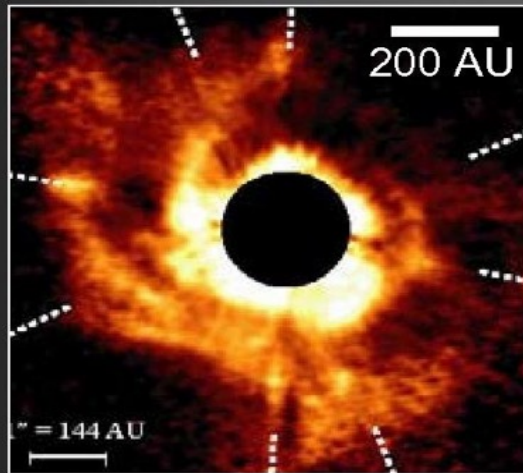
О.В. Козлова¹, И.Ю. Алексеев¹, М.А. Погодин²,
М.И. Домбровская¹

¹ – Крымская астрофизическая обсерватория

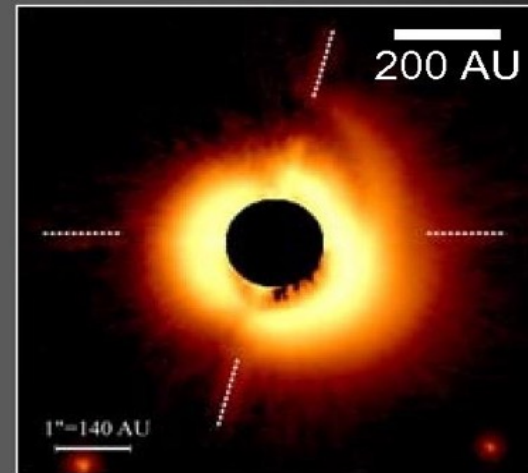
² – ГАО РАН Пулково

7-11 октября, САО РАН, 2019

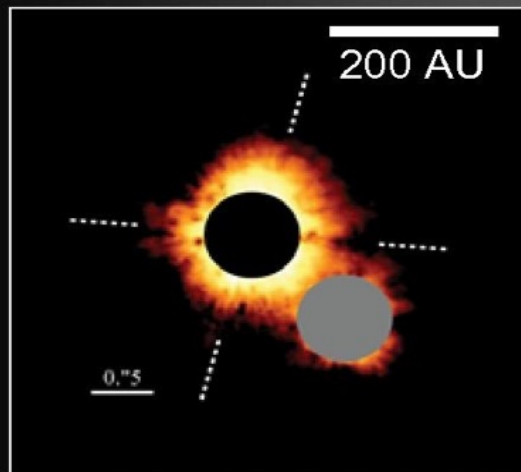
Ае/Ве звезды Хербига



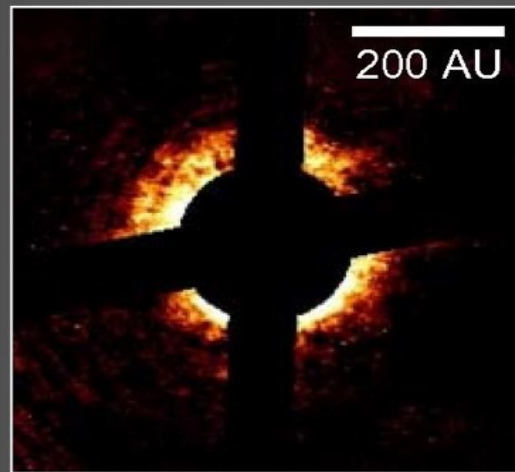
AB Aur (A1, 3 Myr)



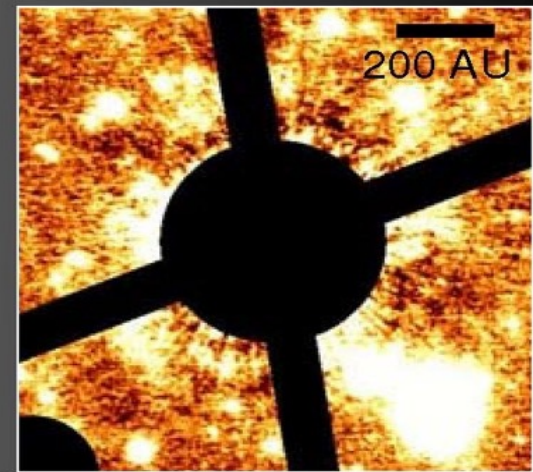
HD 142527 (F6, 2 Myr)



HD 150193 (A2, 6 Myr)



HD 169142 (A5, 8 Myr)



HD 163296 (A1, 4 Myr)

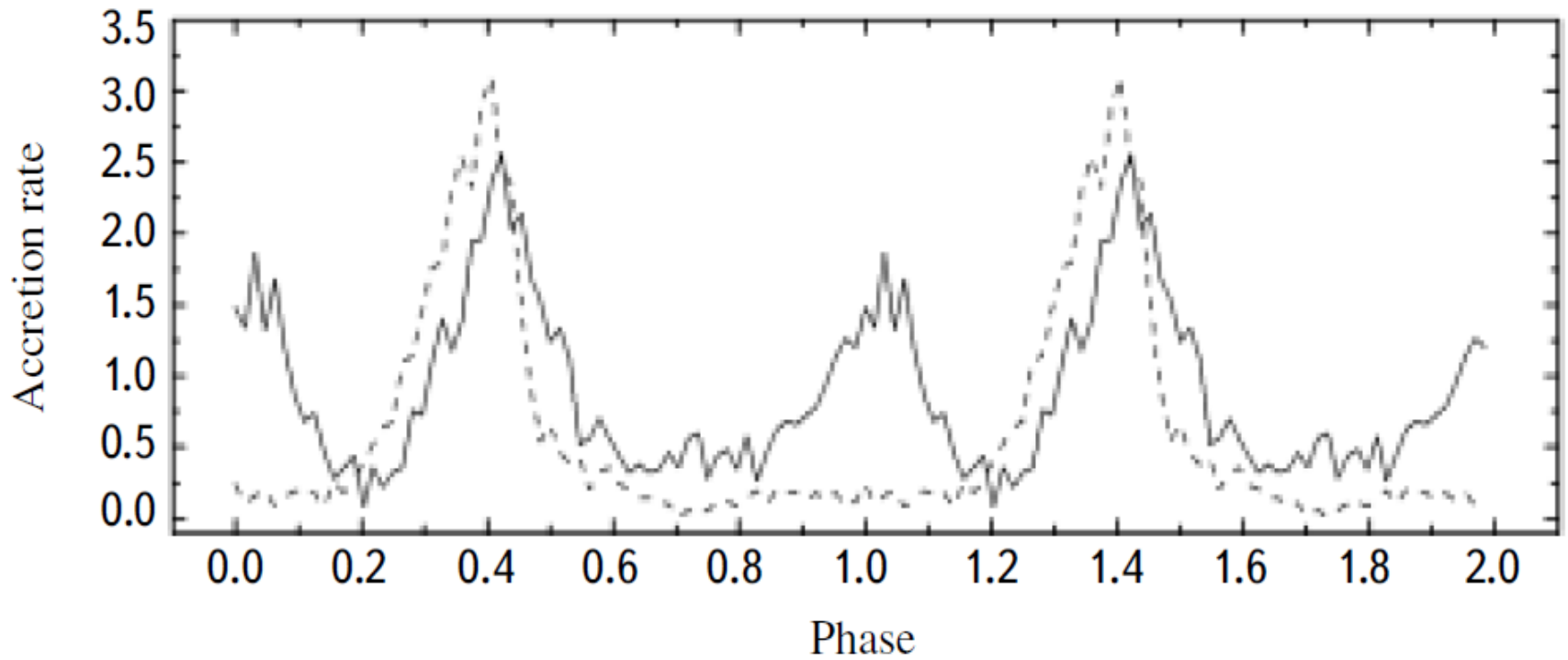
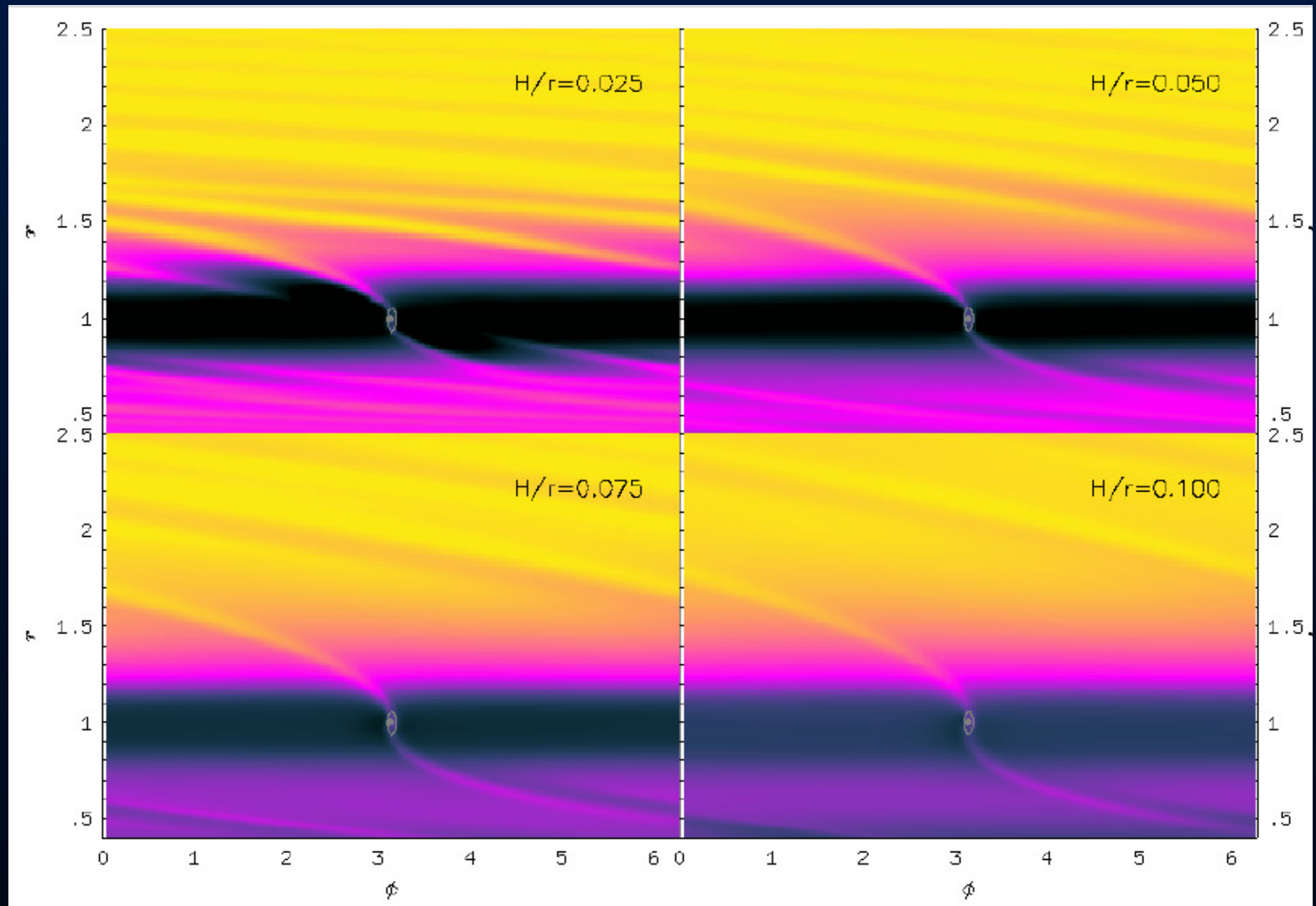


Fig. 2. Same as in Fig. 1, for model 2 ($e = 0.5$; $q = 0.01$).

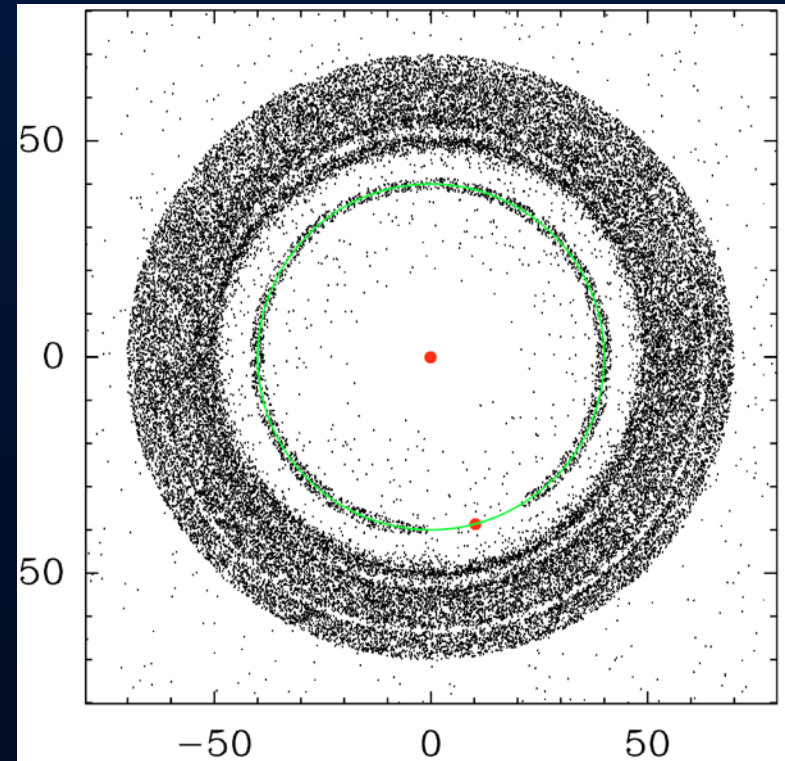
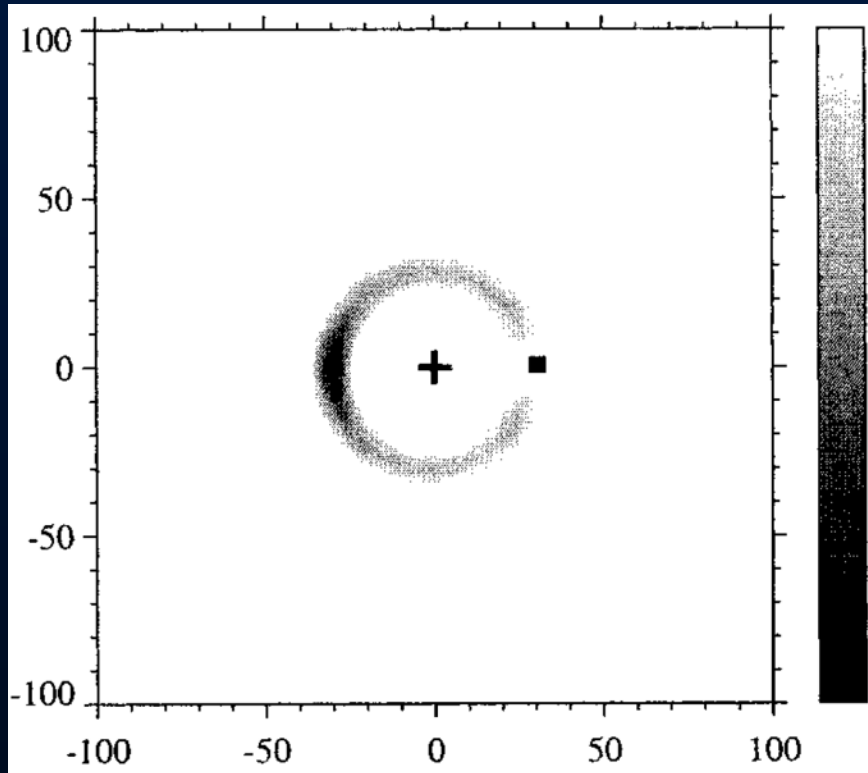
Демидова, *Астрофизика*, 2009, 52, 567

Моделирование планетообразования



W.Kley, 1998

Кольцевые и подковообразные структуры в диске

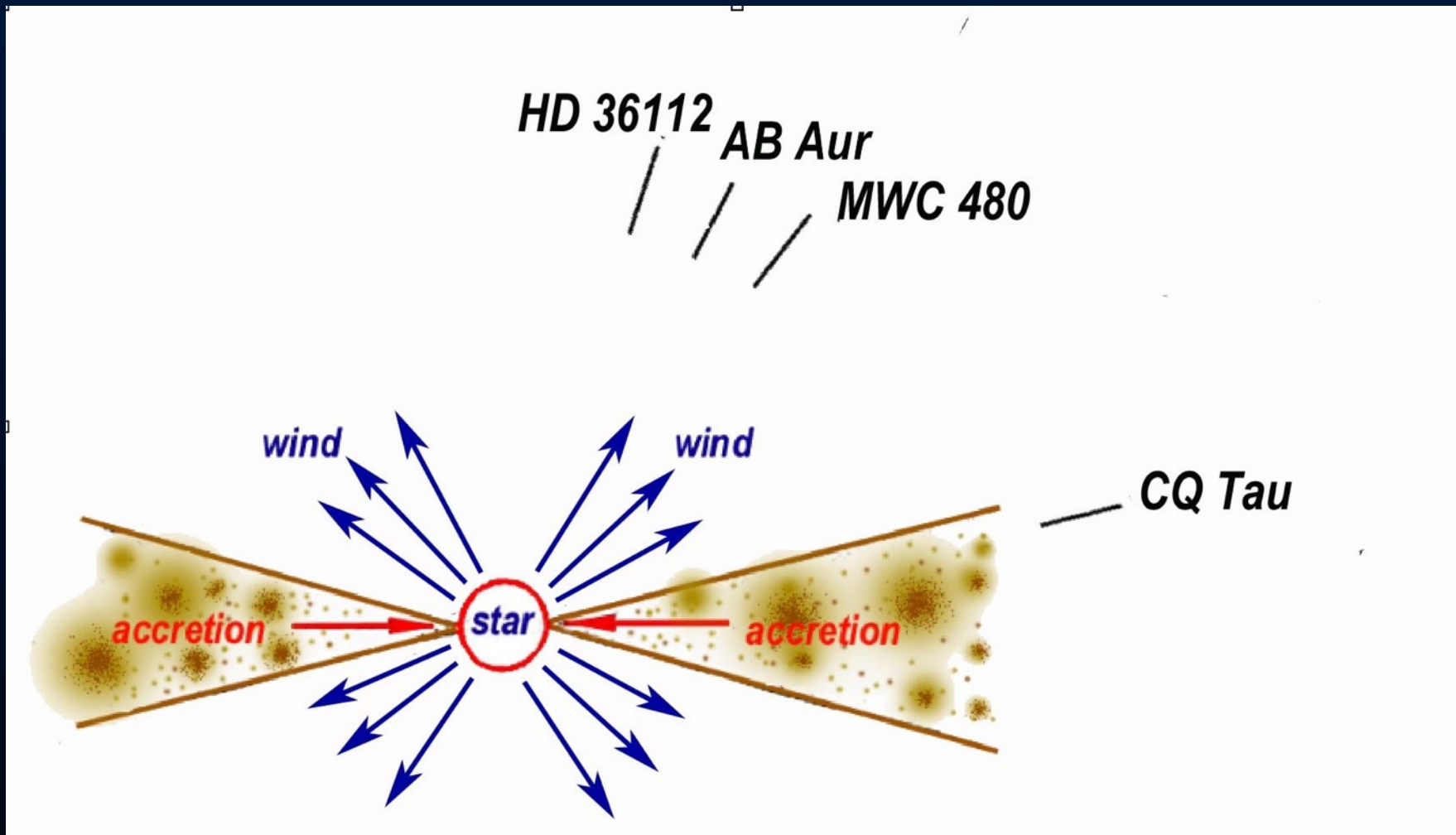


Ozernoy et al., 2000; Quillen & Thorndike, 2002;
Kuchner & Holman 2003; Reche et al., 2008.

Наблюдаемые объекты:

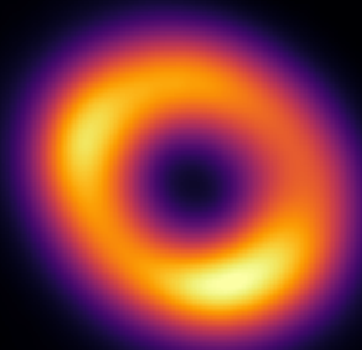
3 звезды с признаками ветра (MWC 480, AB Aur, HD 36112)

1 звезда типа UX Ori (CQ Tau)



CQ Tau

M.G.Ubeira Gabellini et al. MNRAS,
2019 (ALMA, continuum 1.3 mm)



!

Conclusion:

STAY TUNED!
Ubeira et al. in prep.

We modelled CQ Tau as a disk where there is a **sharp ring of dust** (just outside the supposed planetary orbit) and a **broader extent of gas**. In this system there is clear evidence of the presence of an **inner cavity in both dust and gas distribution**. The one of the dust has an outer radius of 28 AU and a depletion factor of 10^{-2} , whereas the gas cavity is at 20 AU with a depletion of 10^{-2} . The **dust-to-gas ratio** is not uniform over the whole radial extent. We have run SPH **hydrodynamic simulations** (PHANTOM [6]) to address if the presence of a planet can reproduce the ALMA data and we found good agreement with the DALI profiles. **The planet should have $M_P \sim 3 - 9 M_{Jup}$; $R_P \sim 20 AU$.**

$R_p \sim 20$ a.e. $P \sim 73$ года

**Многолетний фотометрический мониторинг:
КрАО, АЗТ-11, UBVRI фотометр-поляриметр**

Периоды $P_1 \sim 1000^d$, $P_2 \sim 21$ год

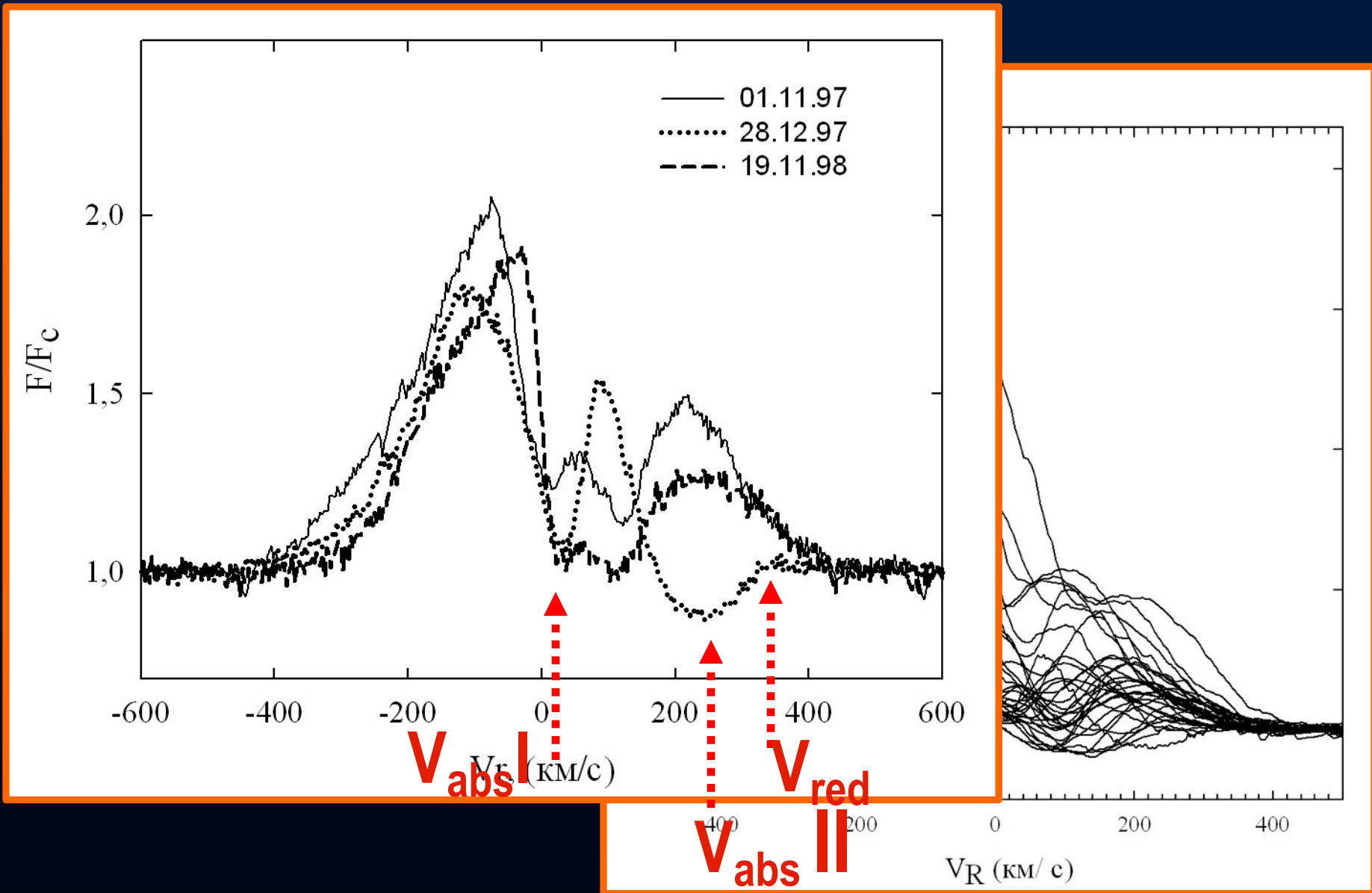
(Шаховской и др., Астрофизика, 2004)

Многолетний спектральный мониторинг:

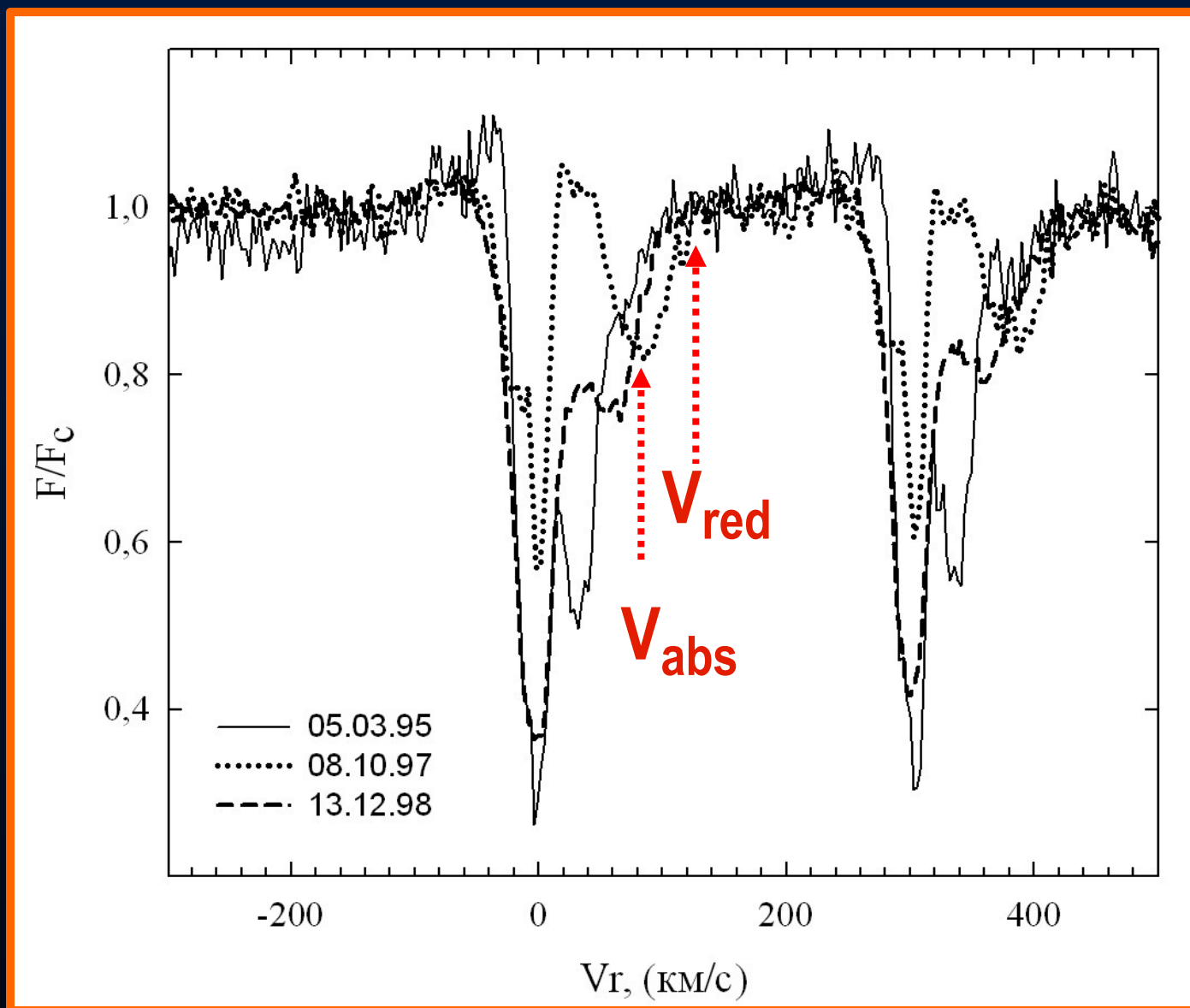
КрАО, 2.6 м ЗТШ, 1994-2002 гг, кудэ, $R \sim 20000$

(Козлова и др., Астрофизика, 2007)

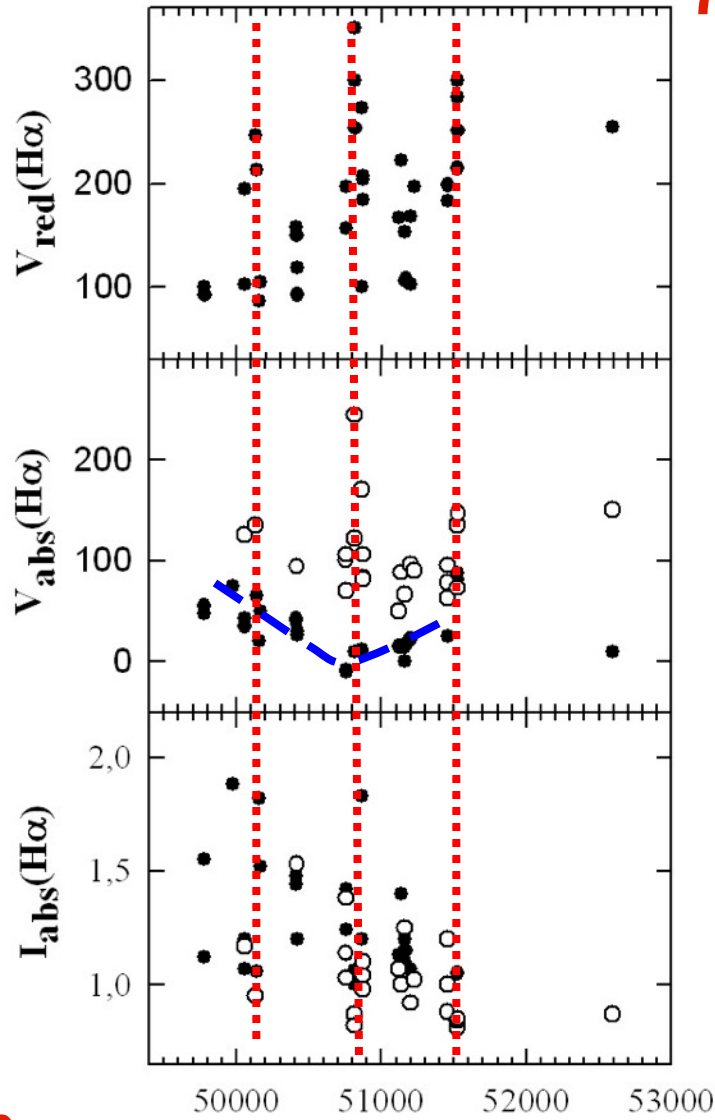
Эмиссионная линия H α



Линии резонансного дублета Na I D

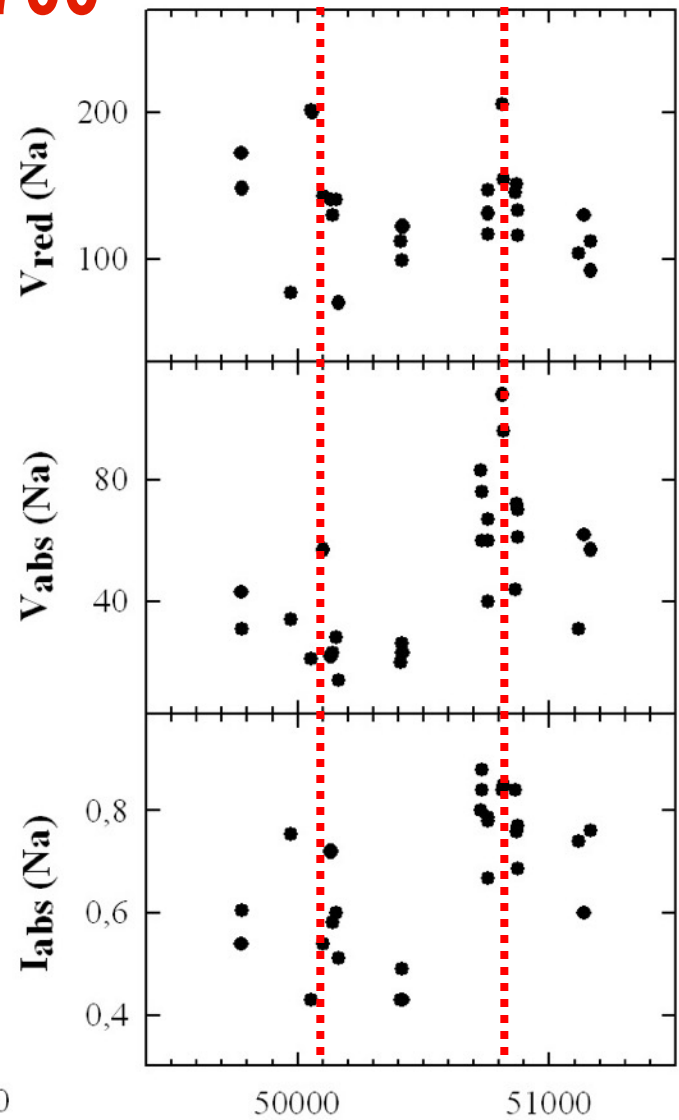


H α



700^d

Na I D

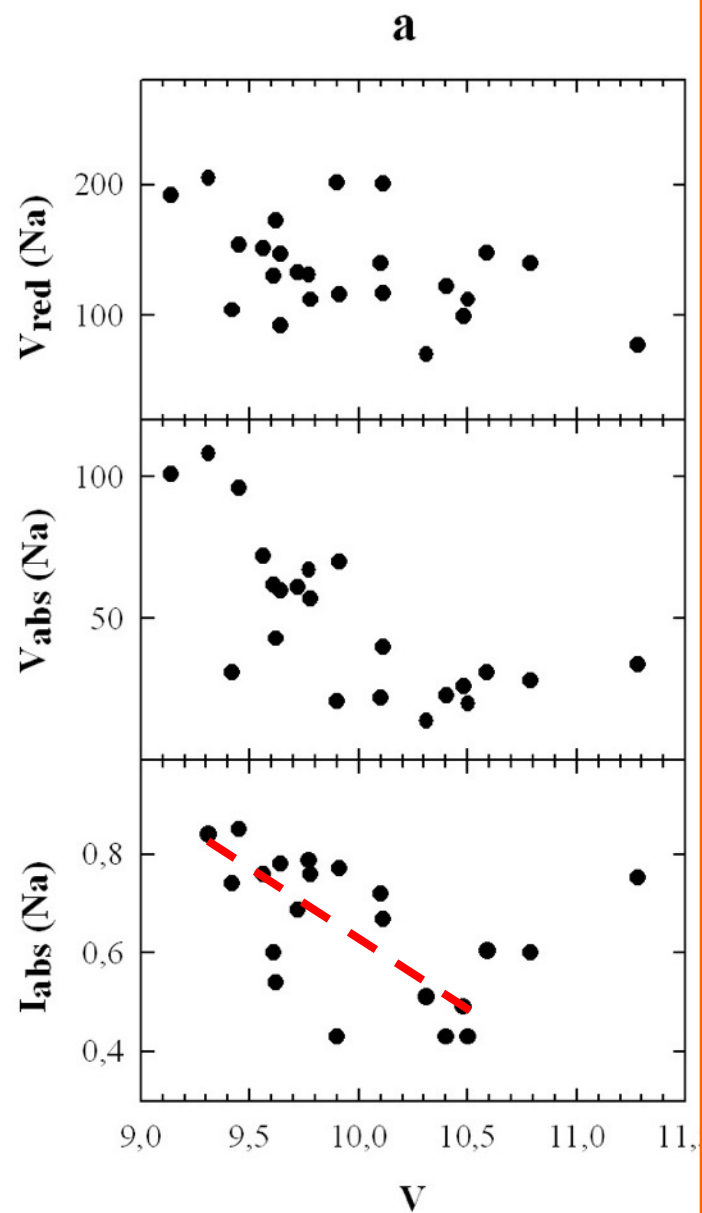
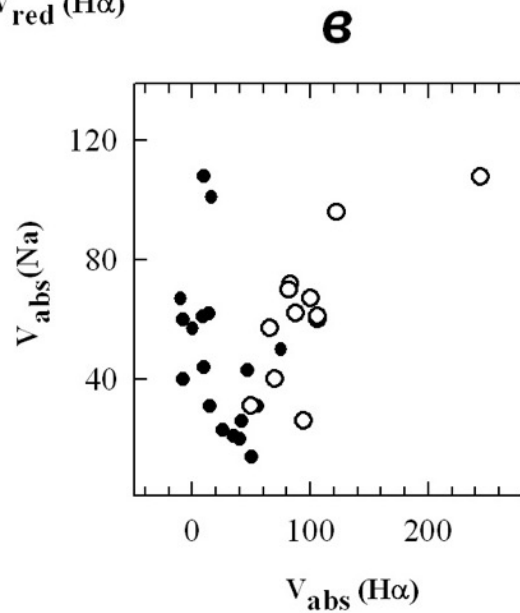
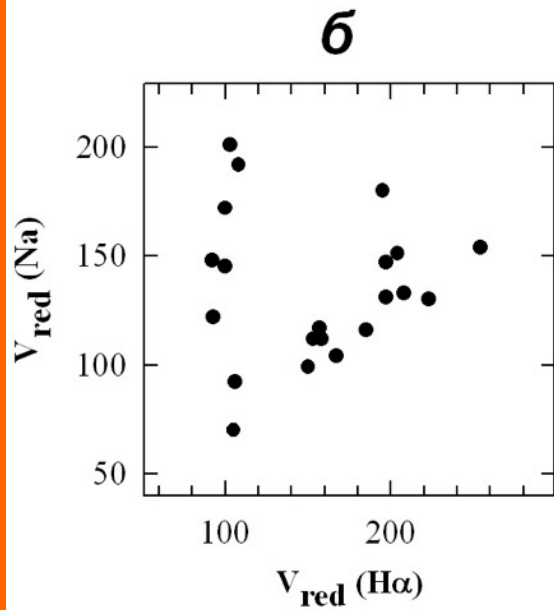
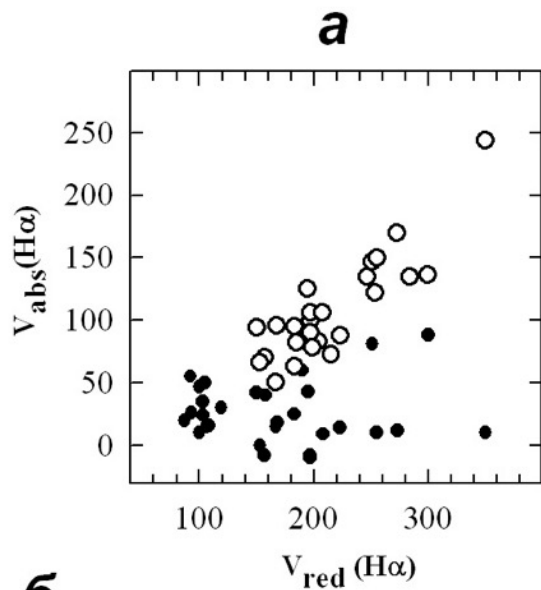


J.D. :

50100 50800 51500

J.D. +2400000

50100 50800



1. Область I (место формирования V_{absI}) – аккреционный диск CQ Tau – медленные изменения на шкале времени $\geq 2000^d$.
2. Кинематика газа в области II отлична от кинематики аккреционного диска и меняется на шкале времени 700^d .
3. Смещенные в красную сторону линии поглощения в Na I D формируются в области II. Их появление связано с втягиванием во внутреннюю область диска пылевых облаков, кинематика которых отлична от кинематики вещества аккреционного диска, и их диссипацией.
4. Область II – «внешний», дополнительный газ, появляющийся после диссипации пылевых облаков.

⇒

Газ области II может давать рост темпа аккреции, который можно было бы наблюдать в изменении $EW(H\alpha)$. Коронোগрафический эффект (зависимость $EW(H\alpha)$ от блеска) не дает нам этого увидеть.

700^d – шкала спектральной переменности. Ее можно принять за орбитальный период возможной планеты.

⇒ $R_p \sim 1.8$ а.е.

У звезды есть фотометрический период 1000^d – Шаховской и др., 2005, Астрофизика. Ему соответствует $R \sim 2.3$ а.е. Он указывает на присутствие в диске вблизи формирующей планеты пылевых неоднородностей.

MWC 480

Liu et.al. 2018 (ALMA)

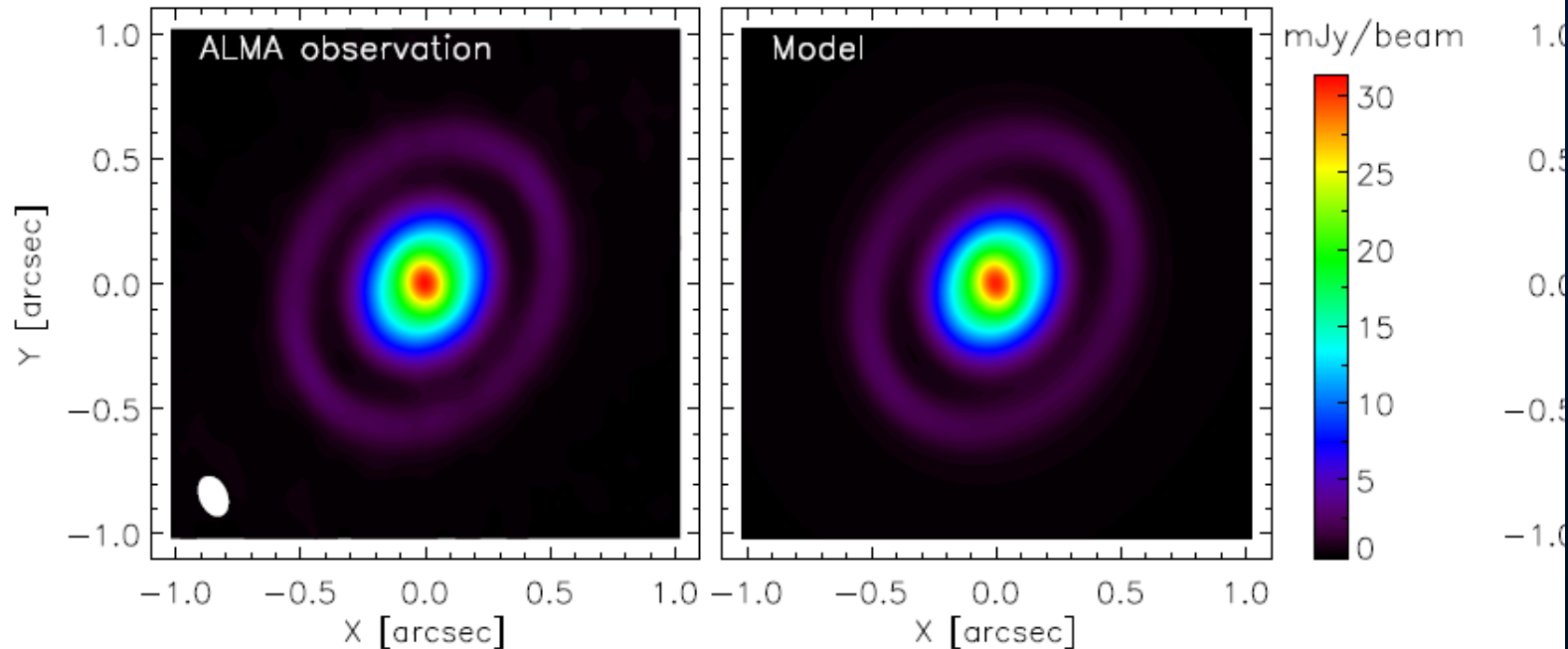


Fig. 1. Comparison between the ALMA observation (left) and the model image (middle) at B the white filled ellipse in the observed image. The residuals between the observed and model which σ refers to the rms level 0.07 mJy/beam of the CLEANed map. The dashed ellipses indi

$R_p \sim 78 \text{ a.e.}$ $m_p \sim 2.3 M_J$

Многолетний спектральный мониторинг:

КрАО

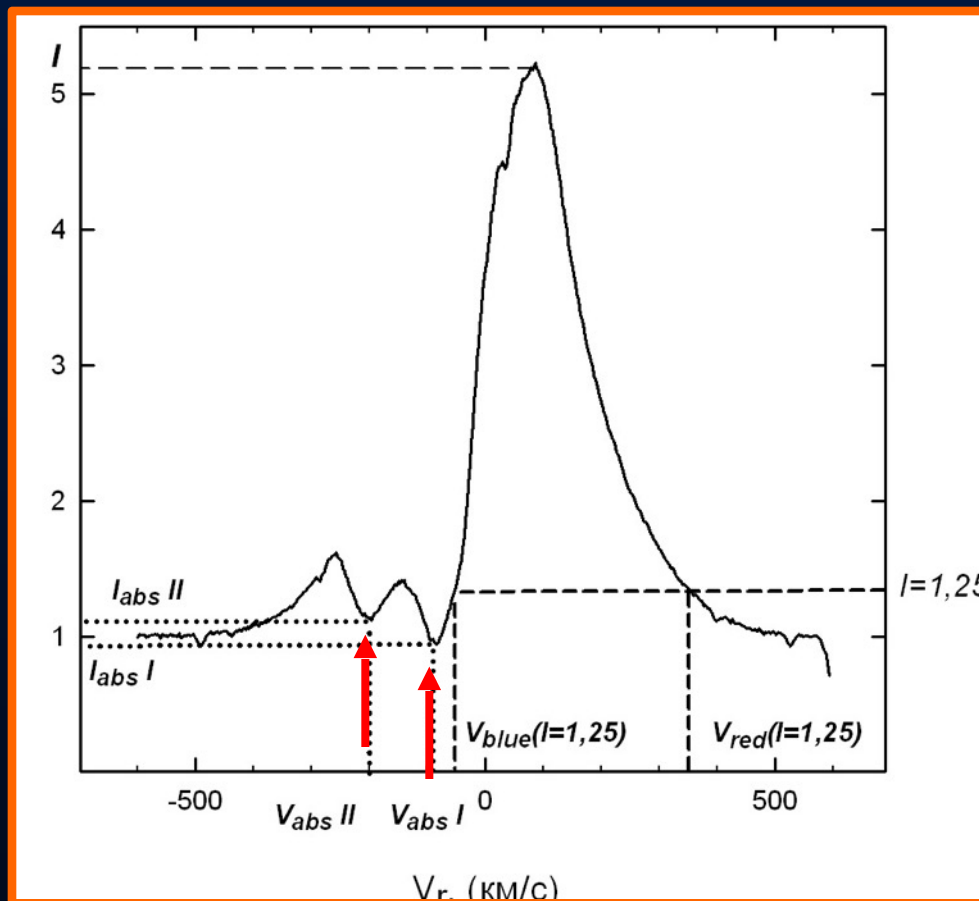
2.6 м ЗТШ

1998-2006 гг

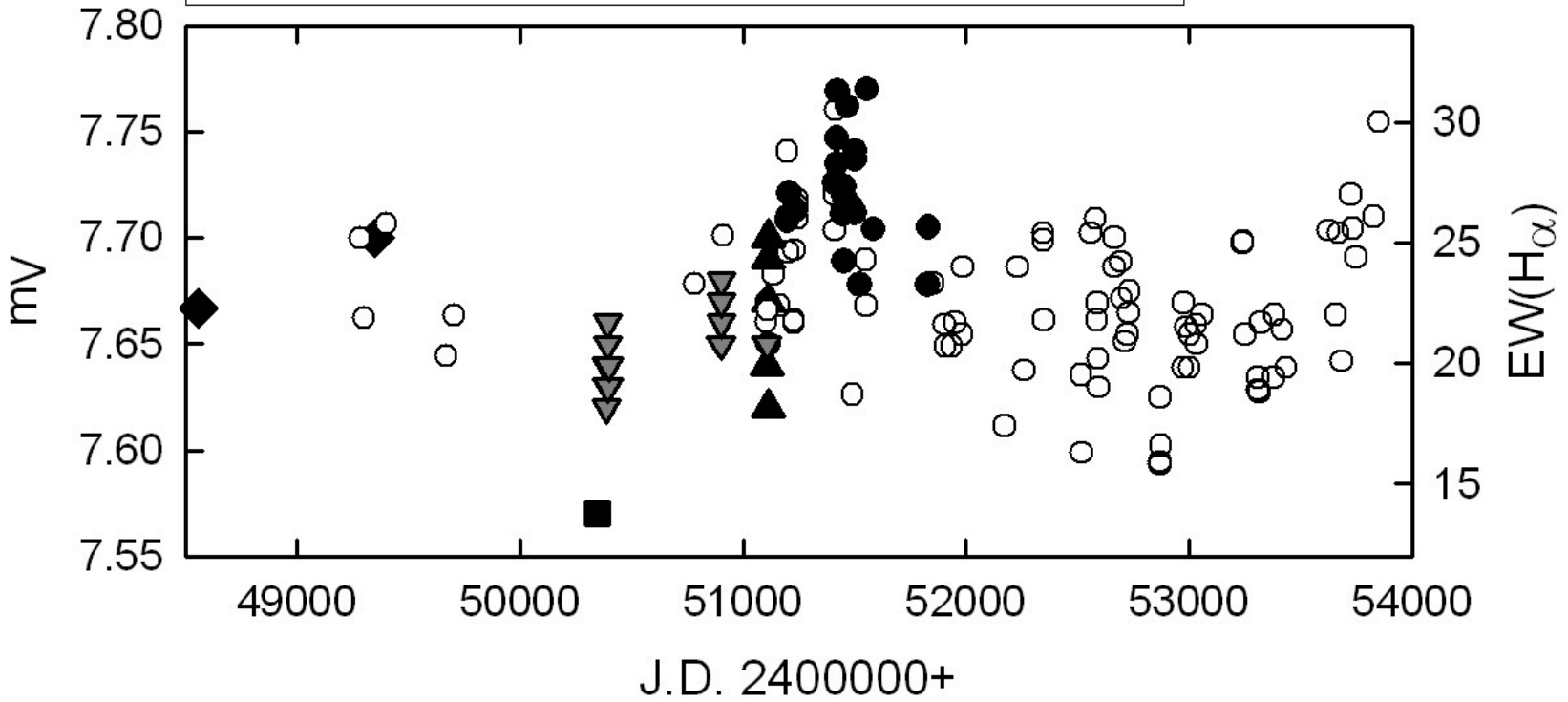
кудэ, $R \sim 20000$

Sp: H α , Na I D, OI 7774

(Козлова и др., *Астрофизика*, 2007)



- - Vieira et al., Astron. J., 126, 2971, 2003
- ▲ - Oudmaier et al., A&A, 379, 564, 2001
- - настоящая работа
- ▼ - Beskrovnaya, Pogodin, A&A, 414, 955, 2004
- ◆ - D.De Winter, M.E.Van den Anker et al., A&A, 380, 609, 2001



0.4
 50000 51000 52000 53000 54000
1200^d - 1300^d
 J.D. +2400000

R_p ~ 3.1 a.e.

AB Aur

(Subaru)

Hashimoto et al. 2011: полость 85 а.е., $m_p \sim 3 M_J$, $R_p \sim 67$ а.е.

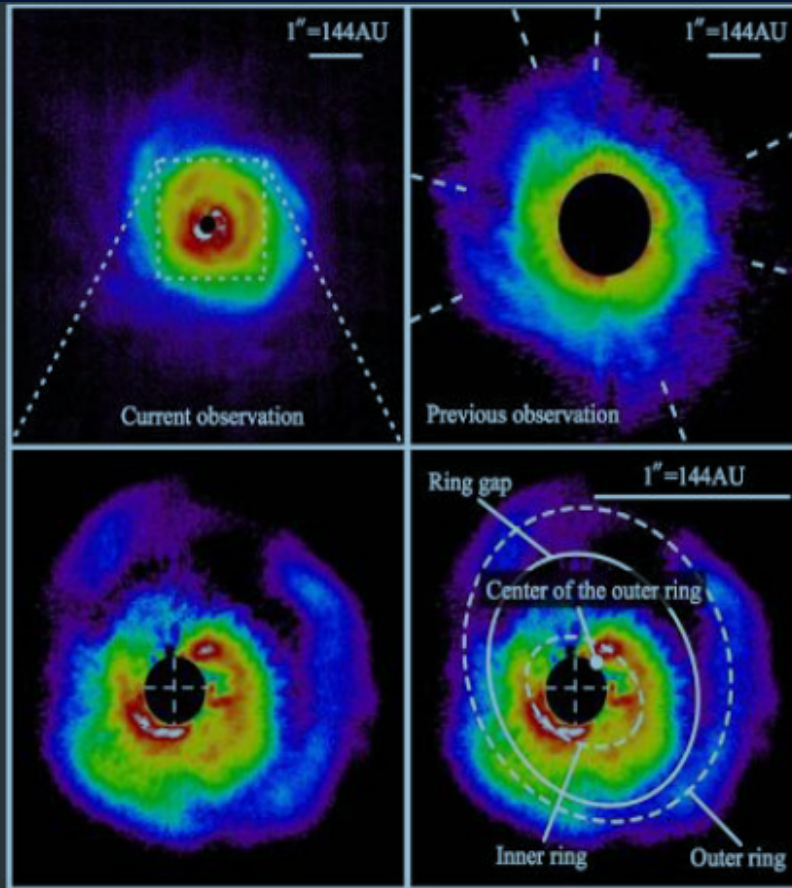


Figure 1: Near-infrared (1.6 micron) images of AB Aur.

ИК-фотометрия, Шенаврн и др. 2018:

излучение теплой пыли и газа

$P_1 \sim 1000^d$, $P_2 \sim 3000^d$

Многолетний спектральный мониторинг:

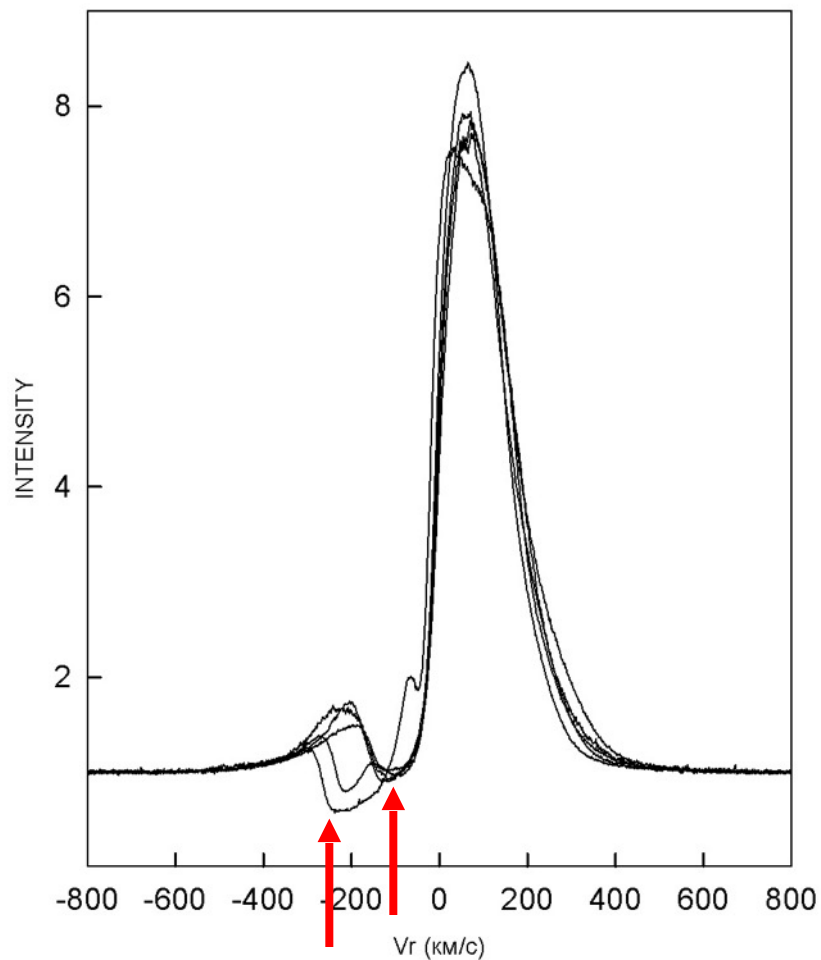
КрАО, 2.6 м ЗТШ

2009 - 2019 гг

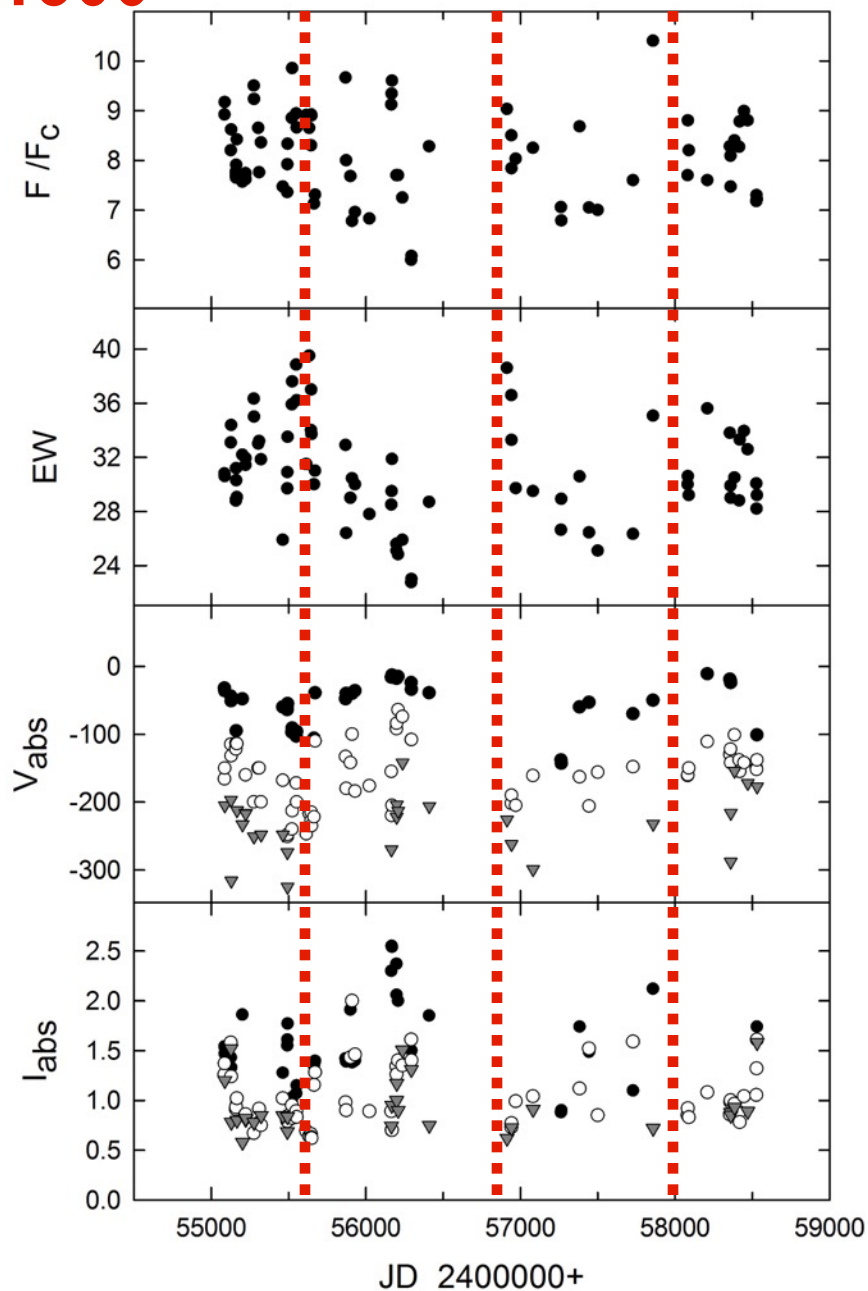
кудэ, R ~ 20000

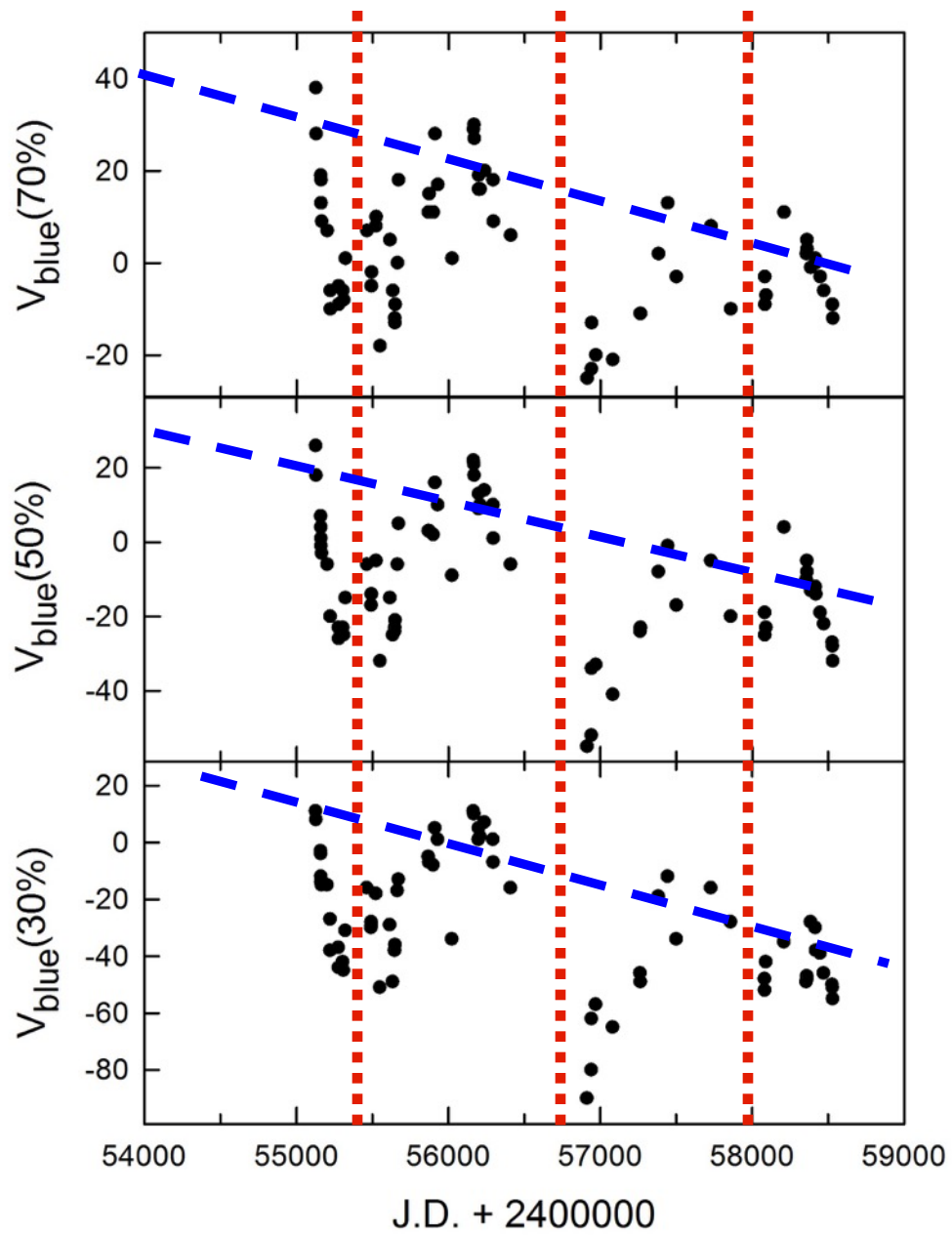
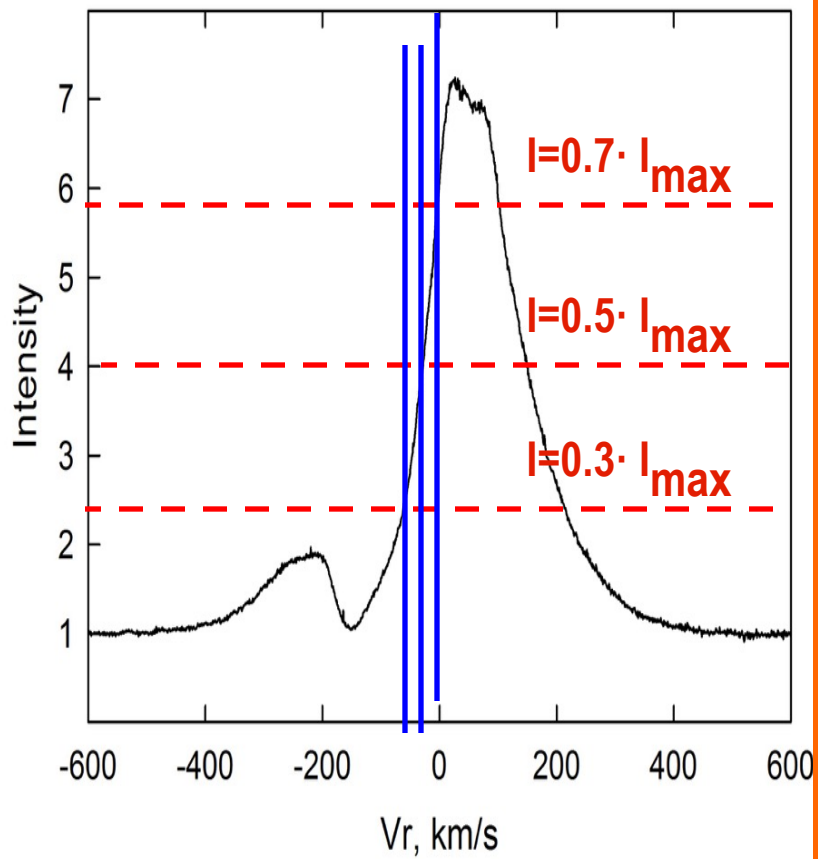
Sp: H α , Na I D

Эмиссионная линия H α



1300^d





1300^d – шкала спектральной переменности $N\alpha$ (ветер) – результат изменения темпа аккреции
 \Rightarrow
 1300^d – возможный орбитальный период
 \Rightarrow
 $R_p \sim 3.3 \text{ a.e.}$

**ИК-фотометрия,
Шенаврин и др. 2018:
излучение теплой пыли и газа**

$P \sim 1000^d$, $\Rightarrow R_1 \sim 2.8 \text{ a.e.}$

HD 36112

Boehler et al. 2018 (ALMA 0.88 mm)

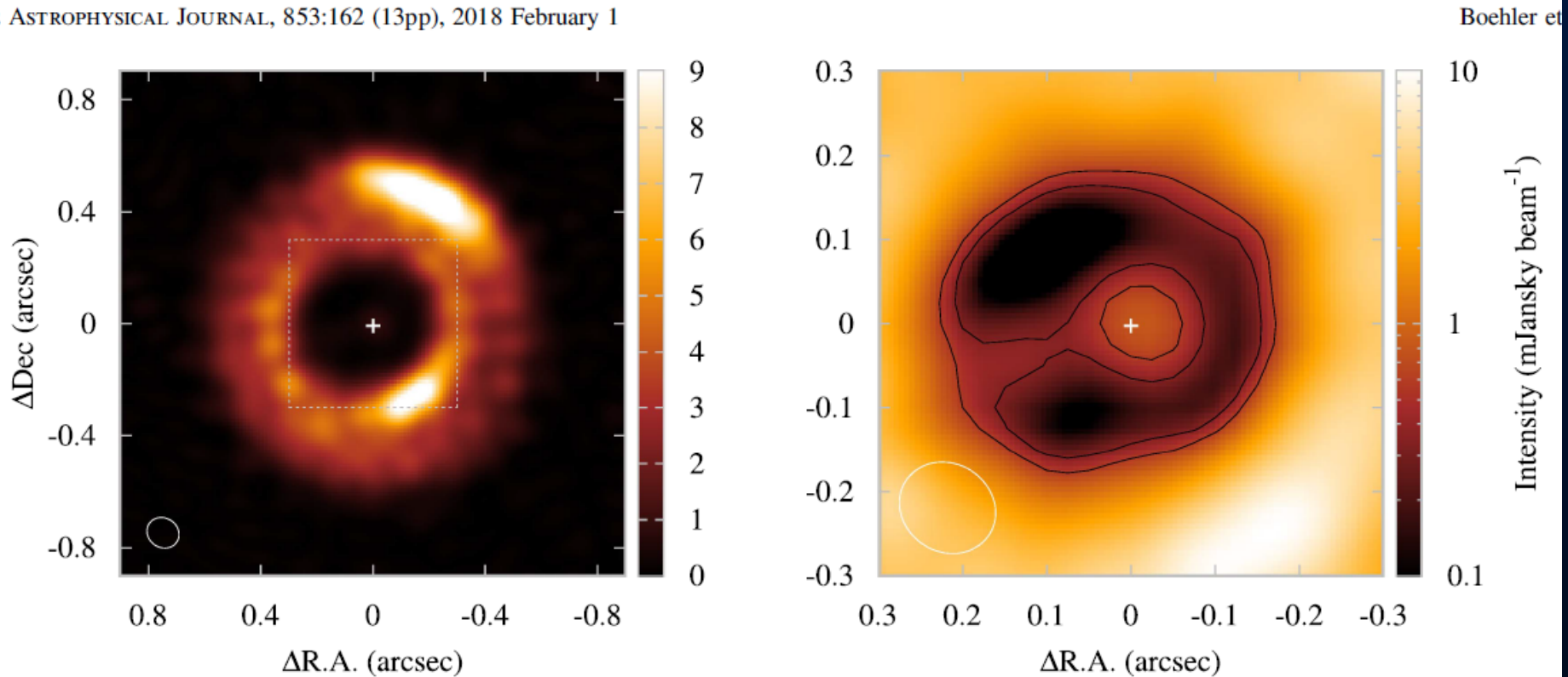


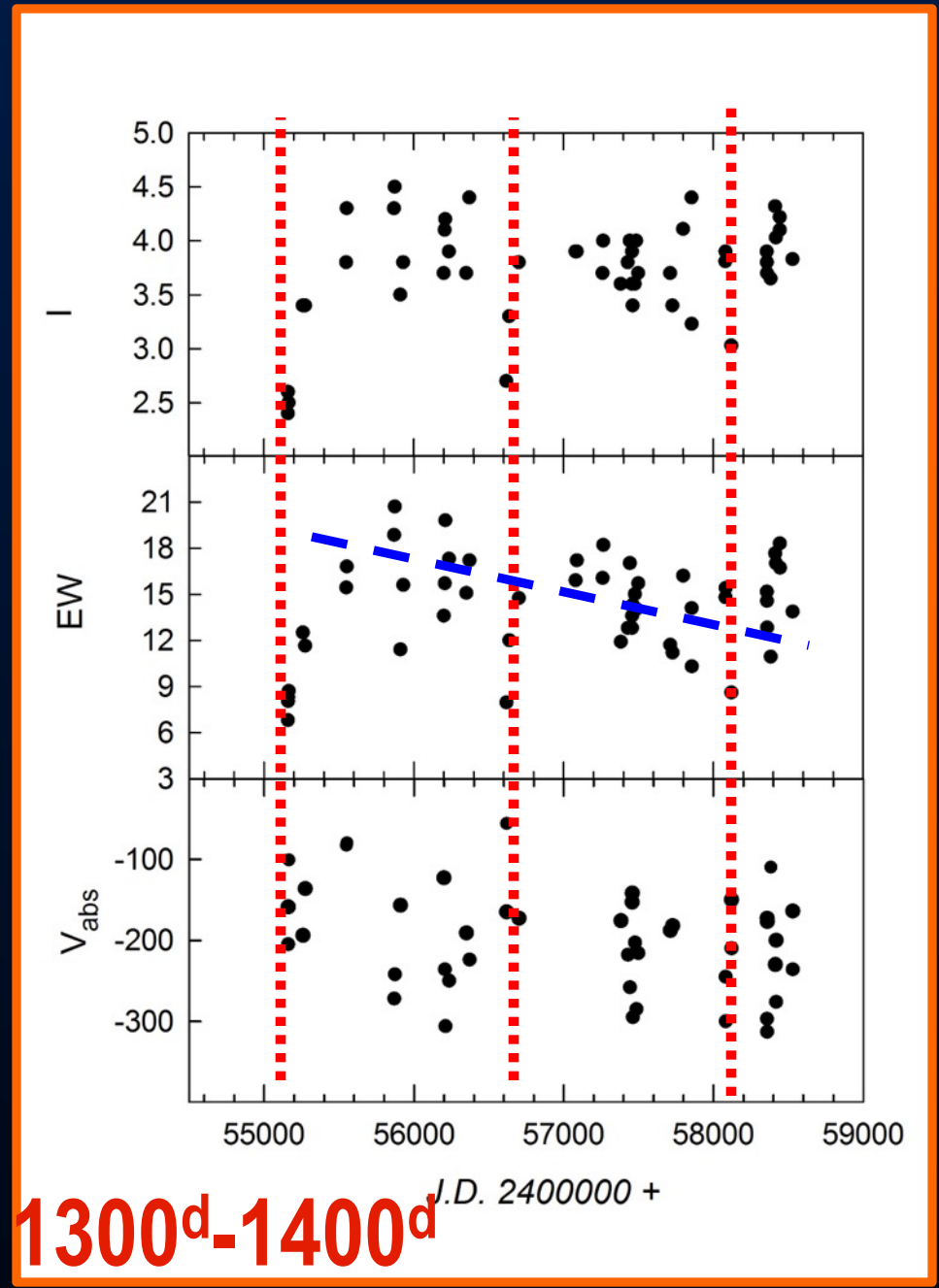
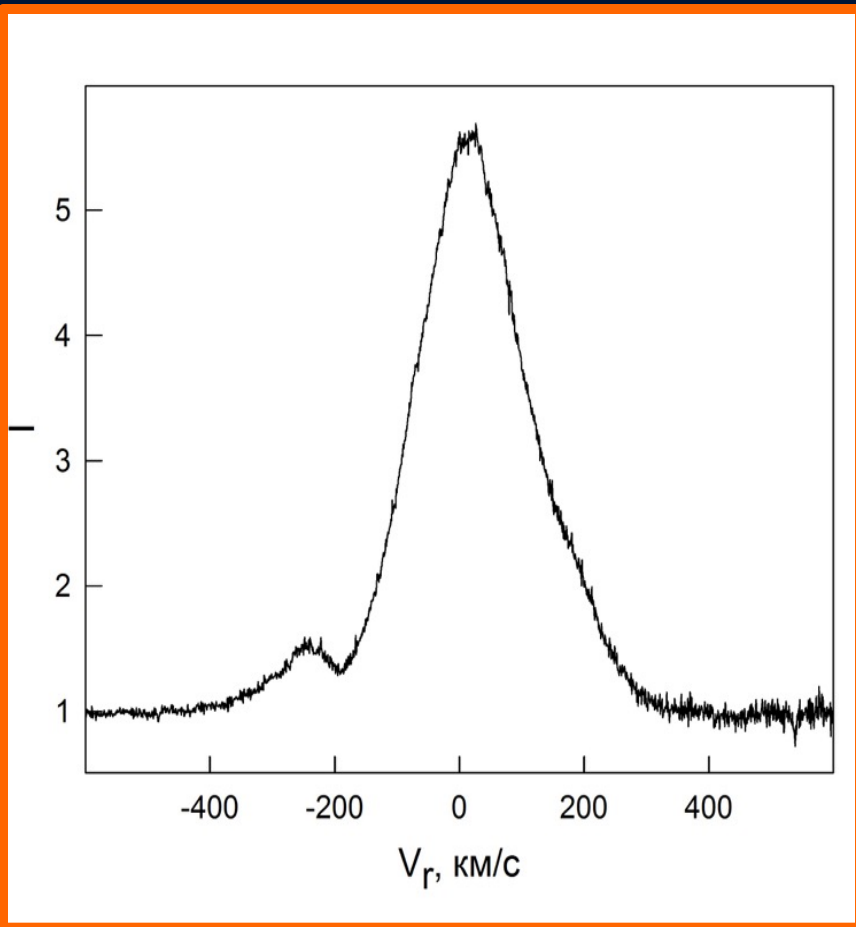
Figure 2. Left: map of the dust continuum emission obtained using super-uniform weighting. The FWHM of the synthesized beam is $0''.119 \times 0''.105$ (P.A. 66.2 degrees) and the noise is $115 \mu\text{Jy beam}^{-1}$. The rectangle in the gray dashed line shows the inner region displayed in the right panel. Right: map of the disk cavity.

2 планеты: **внутр. полость ~ 40 а.е. $m_p \leq 5 M_J$**
внешний диск

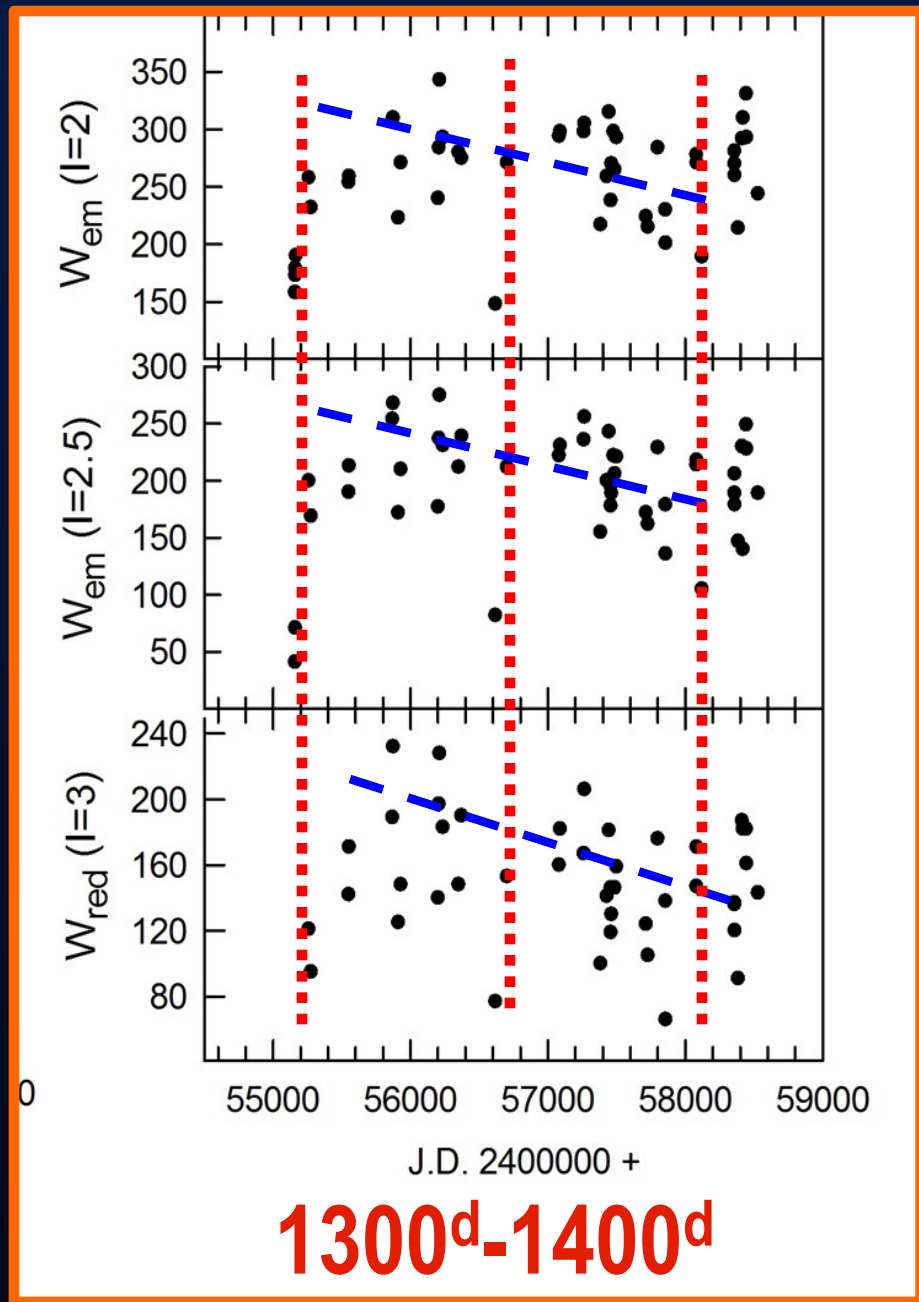
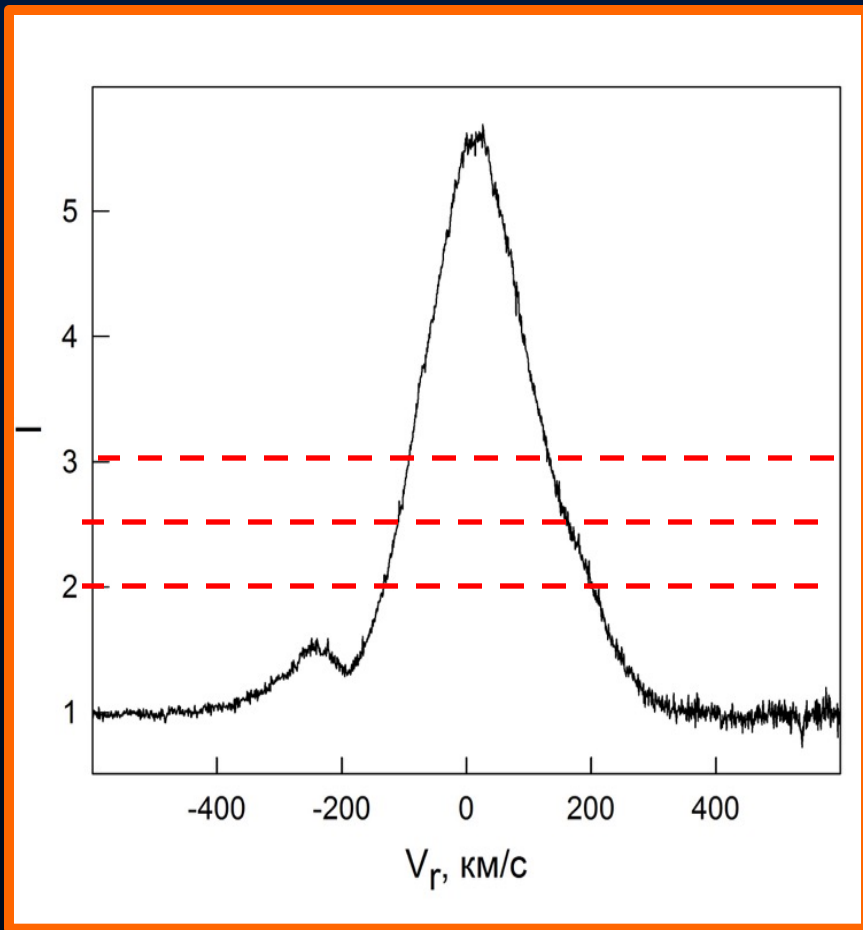
Эмиссия H α :

КрАО, 2.6 м ЗТШ, 2009 - 2019 гг

кудэ, R ~ 20000, Sp: H α , Na I D



1300^d-1400^d



Выводы

1. Все звезды показывают многолетние циклические изменения параметров эмиссионных линий, формирующихся в диске или ветре, в зависимости от ориентации звезды. Наиболее вероятная причина таких изменений – изменение темпа аккреции.
2. В отличие от двойных систем, где переменность происходит на одной временной шкале, равной орбитальному периоду системы, переменность у исследуемых звезд происходит на нескольких временных шкалах. Самая короткая шкала оказывается близкой для разных звезд и составляет от 700^d до 1300^d - 1400^d .
3. В ряде случаев спектральная шкала переменности оказывается близка к обнаруженным фотометрическим периодам.

**Спасибо
за внимание!**

