

# Джет молодой звезды RW Aur A и связанные с ним проблемы

*Ламзин С.А.,*

*Бердников Л.Н., Бурлак М.А., Возякова О.В., Додин А.В.*

ГАИШ МГУ

# T TAURI VARIABLE STARS

Alfred H. Joy

Mount Wilson Observatory

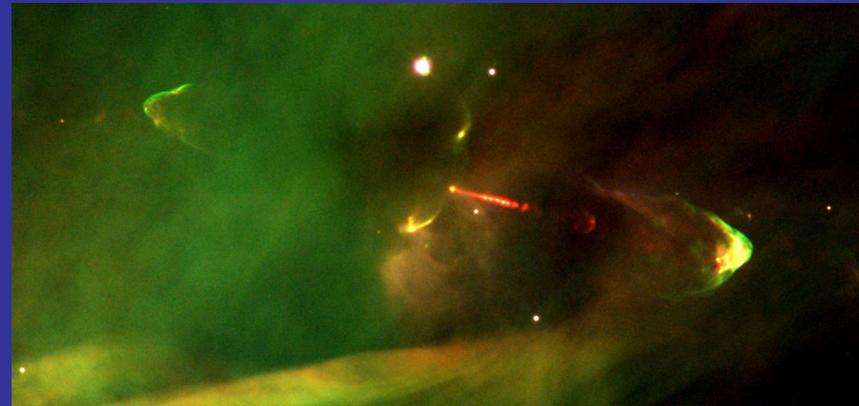
Received June 9, 1945

## ABSTRACT

Eleven irregular variable stars have been observed whose physical characteristics seem much alike and yet are sufficiently different from other known classes of variables to warrant the recognition of a new type of variable stars whose prototype is T Tauri. The distinctive characteristics are: (1) irregular light-variations of about 3 mag., (2) spectral type F5-G5 with emission lines resembling the solar chromosphere, (3) low luminosity, and (4) association with dark or bright nebulosity. The stars included are RW Aur, UY Aur, R CrA, S CrA, RU Lup, R Mon, T Tau, RY Tau, UX Tau, UZ Tau, and XZ Tau. They are situated in or near the Milky Way dark clouds in the direction either of the center or of the anticenter of the galaxy.

Age  $< 10^7$  yr,  $M < 3 M_{\odot}$

- Sp type: G-M IV-V
- Emission in lines & continuum
- Variability from X-ray to radio
- Gas outflow



$W_{H\alpha}$  - характеристика активности TTS:

$W_{H\alpha} < 5-10 \text{ \AA} \rightarrow$  WTTS

$W_{H\alpha} > 5-10 \text{ \AA} \rightarrow$  CTTS

# Young binary RW Aur

$d \approx 1.48'' \approx 200 \text{ au}$

## RW Aur A - CTTS:

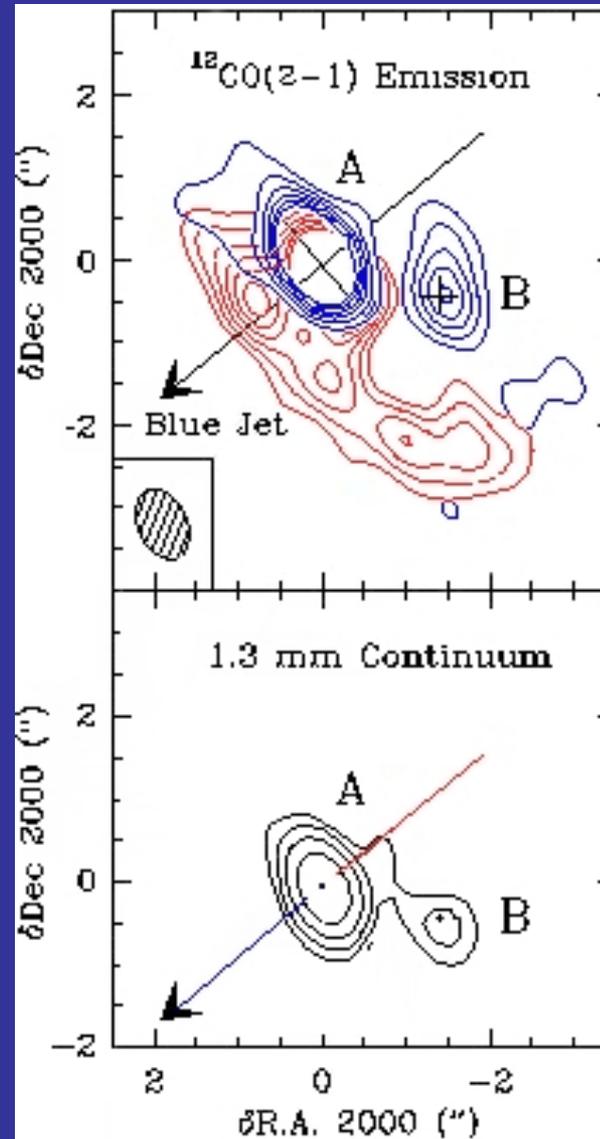
$L/L_{\odot} = 0.85 - 1.1$   
 $R/R_{\odot} = 1.3 - 1.5$   
 $M/M_{\odot} > 1.1$   
 $T_{\text{eff}} = 4600 - 5100 \text{ K}$   
 $i = 45^{\circ} - 60^{\circ} \text{ !!!}$   
 $V = 10^m - 12^m$

*(Petrov et al., 2001)*

## RW Aur B – WTTS ?

Sp K5-K7,  $M \approx M_{\odot}$

*(Herzeg & Hillebrandt, 2014)*



*(Cabrit et al., 2006)*

RW Aur A – одна из самых активных звезд типа Т Тельца

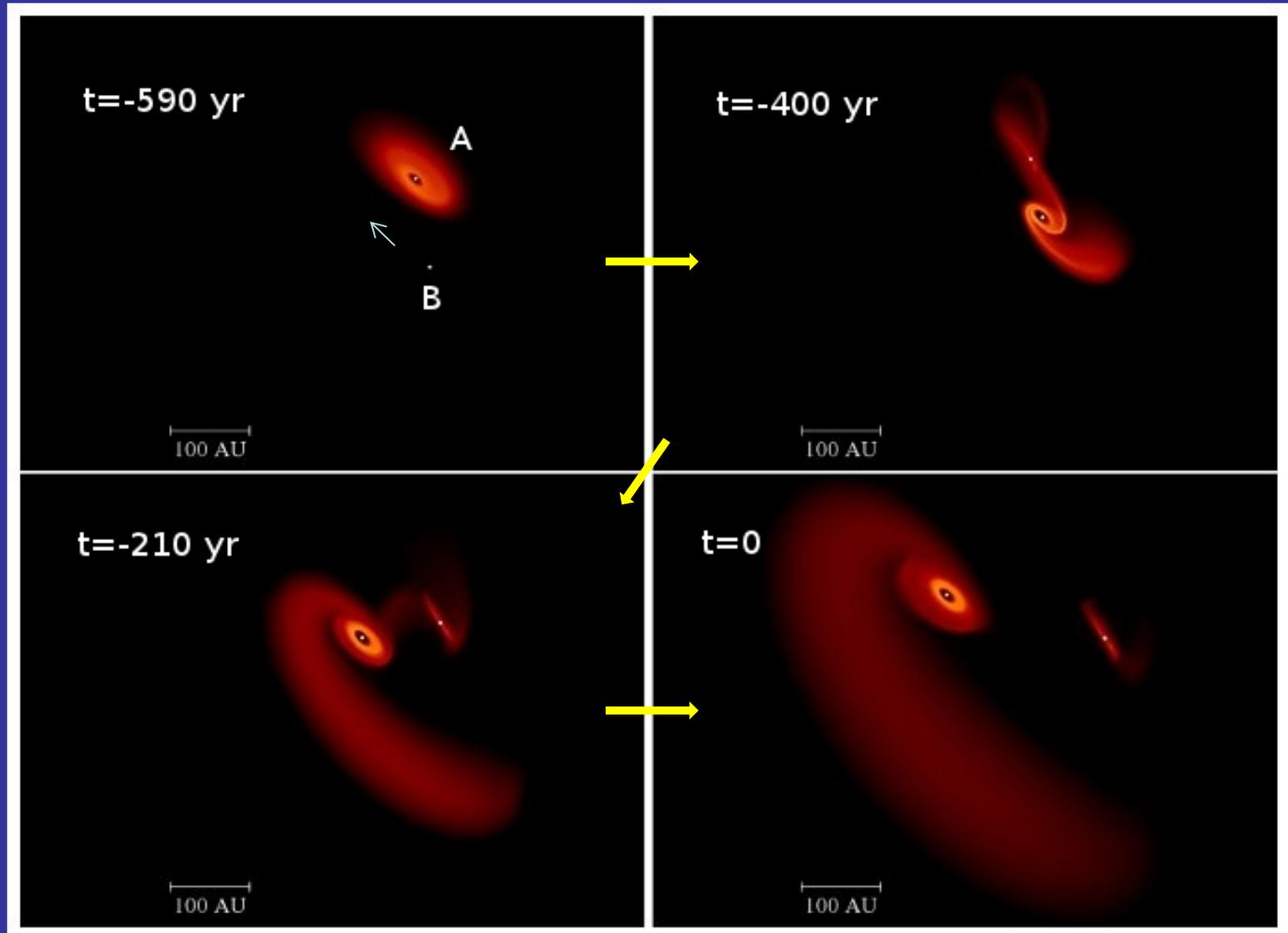
$dM/dt > 3 \cdot 10^{-8} M_{\odot}/\text{год}$ , но при этом  $M_d < 10^{-3} M_{\odot} \rightarrow$

время жизни диска  $< 3 \cdot 10^4$  лет, а возраст звезды  $> 10^6$  лет

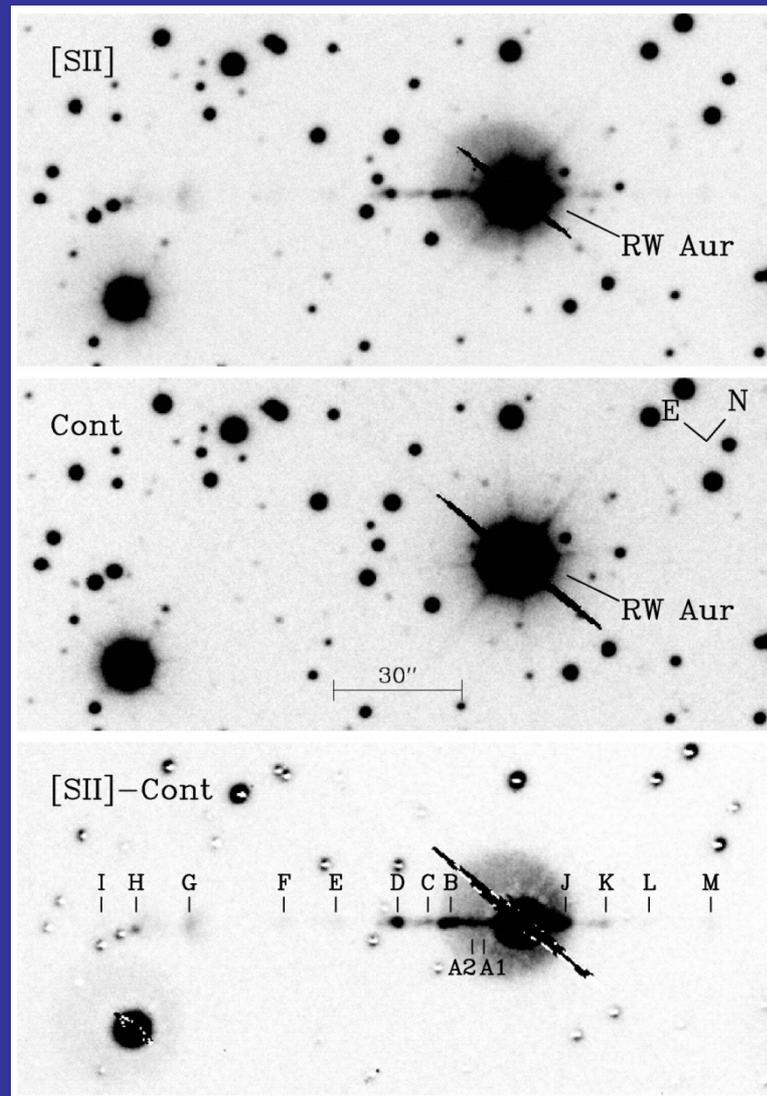
Т.о. активной звезда стала недавно.

Почему ?

# Fly-by model of the eclipse

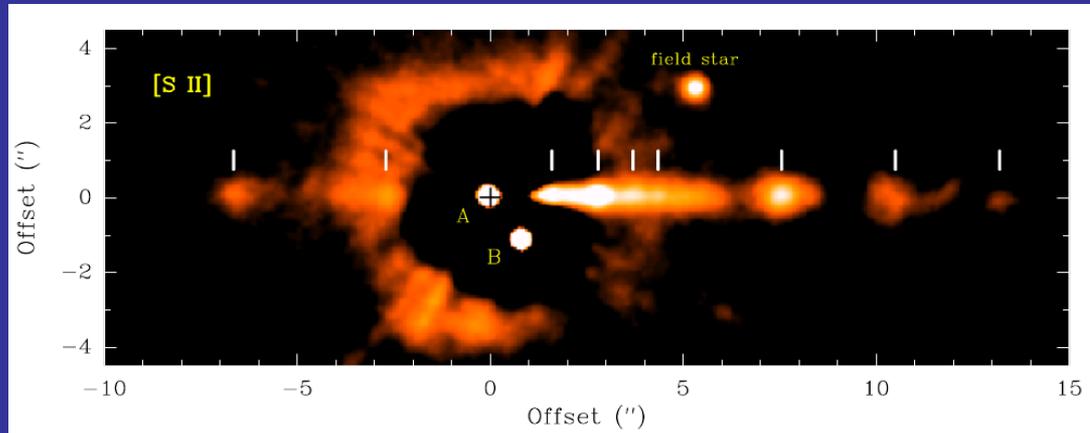


# Mund & Eisloffel (1997) открыли джет у RW Aur A



Джет асимметричный: красный короче синего, который тянется на 0.1 пс

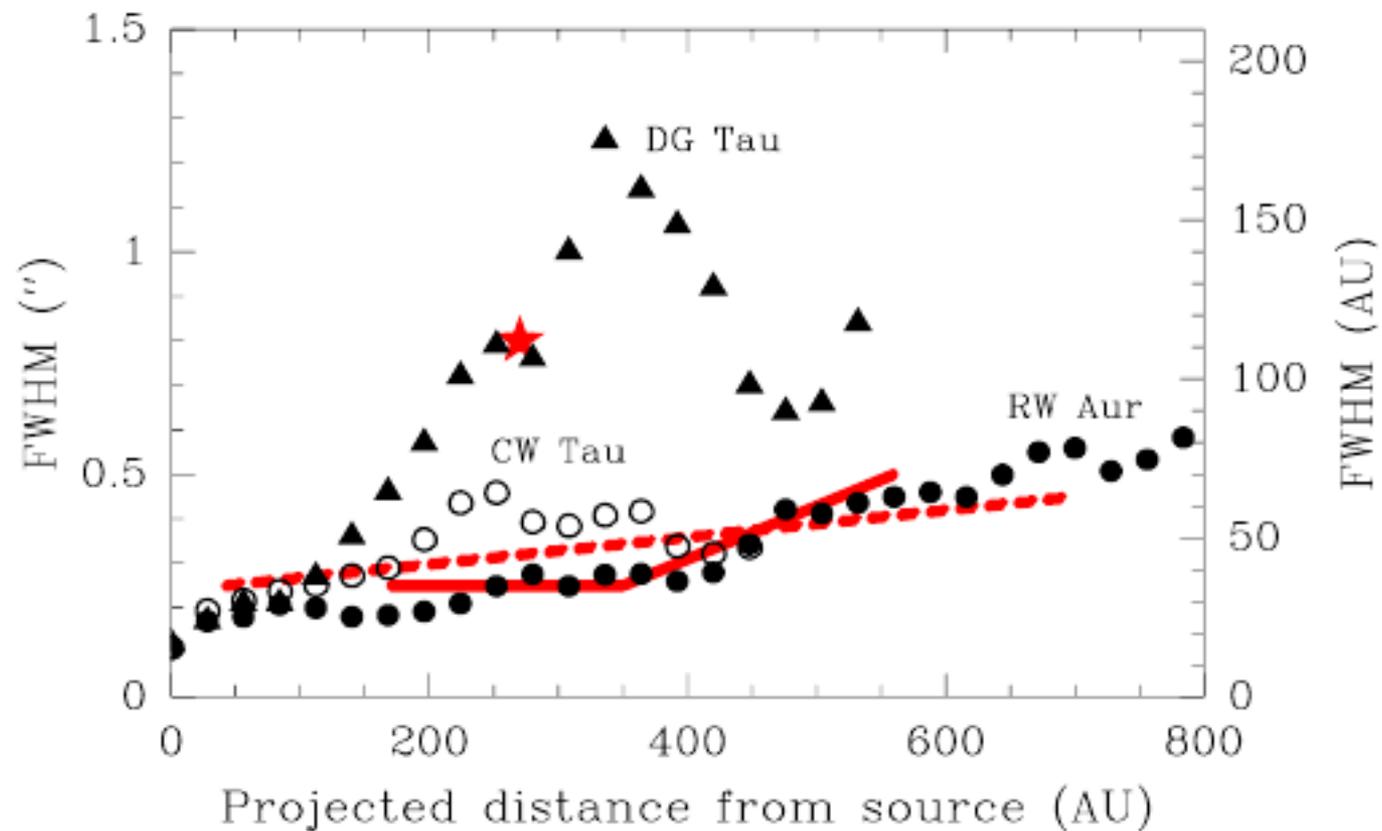
# Внутренние области джета (*Dougados et al., 2000*)



Average physical parameters within the first  $2''.1$  along the jet lobes

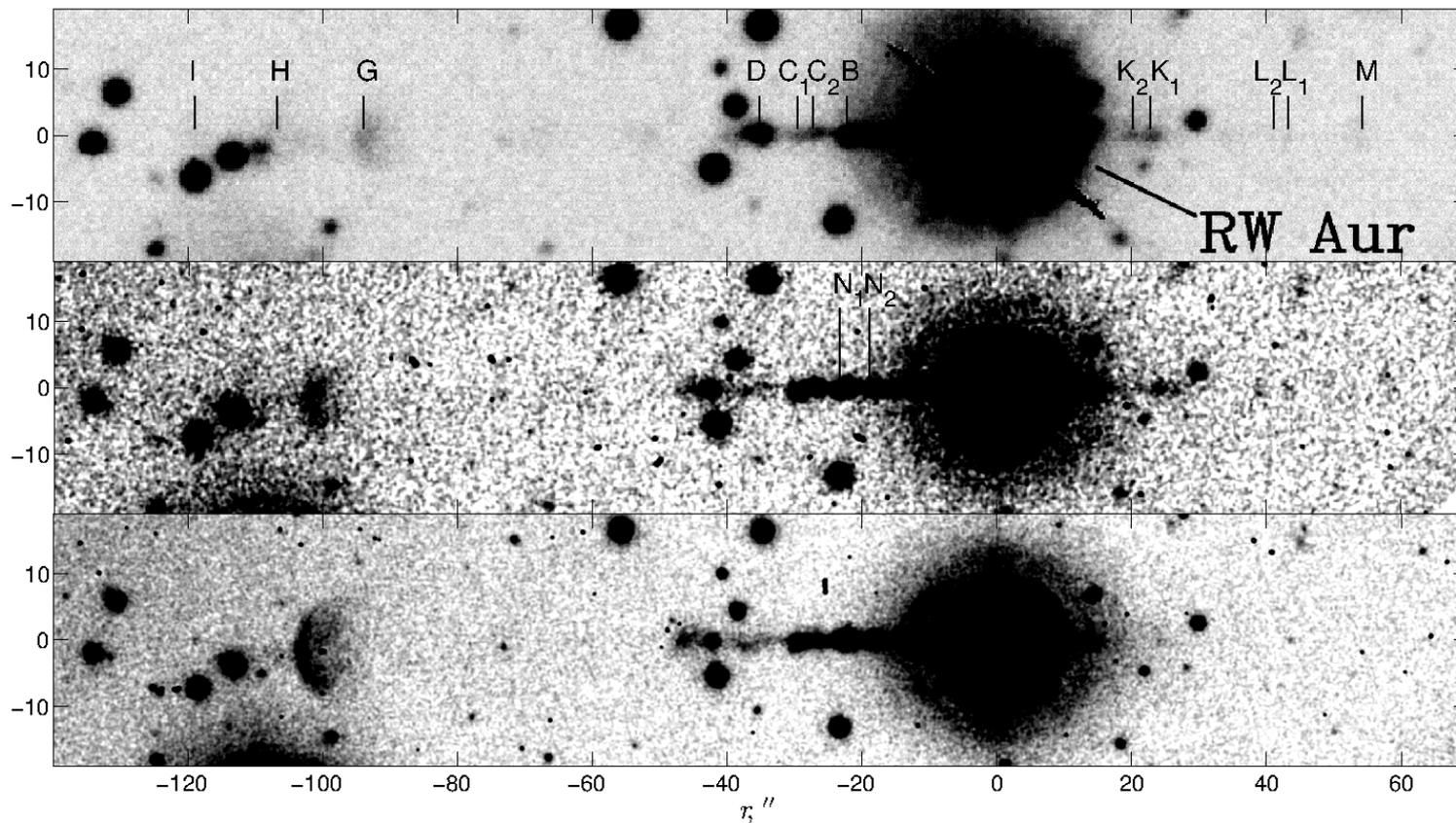
*A&A* 506, 763–777 (2009)

Parameters	Redshifted	Blueshifted
$n_e$ ( $\text{cm}^{-3}$ )	3600	4100
$v_r$ ([S II],[O I] $\lambda 6363$ ) ( $\text{km s}^{-1}$ )	100	-180
$x_e$	0.08	0.23
$T_e$ (K)	12 300	16 400
$n_H$ ( $\text{cm}^{-3}$ )	65 900	22 900
$\dot{M}_j$ ( $M_\odot \text{ yr}^{-1}$ )	$2.6 \times 10^{-9}$	$2.0 \times 10^{-9}$



**Fig. 3.** Variation with distance of the measured jet transverse FWHM in CW Tau (open circles), DG Tau (filled triangles) and RW Aur (filled circles). Also shown are HST measurements of the HH30 (grey dashed curve), HL Tau (full grey curve) and HH 34 (grey star) jet FWHM.

За время с 1995 по 2017 г уплотнения в джете сместились



[SII]  
1995

[SII]  
2017

H<sub>a</sub>  
2017

$\Delta t \approx 21.3$  года

Средняя скорость смещения пятен

в синем джете  $0.33 \pm 0.04$  "/год (160 км/с)

в красном джете  $0.18 \pm 0.03$  "/год (90 км/с)



Возраст джета = начало активной аккреции

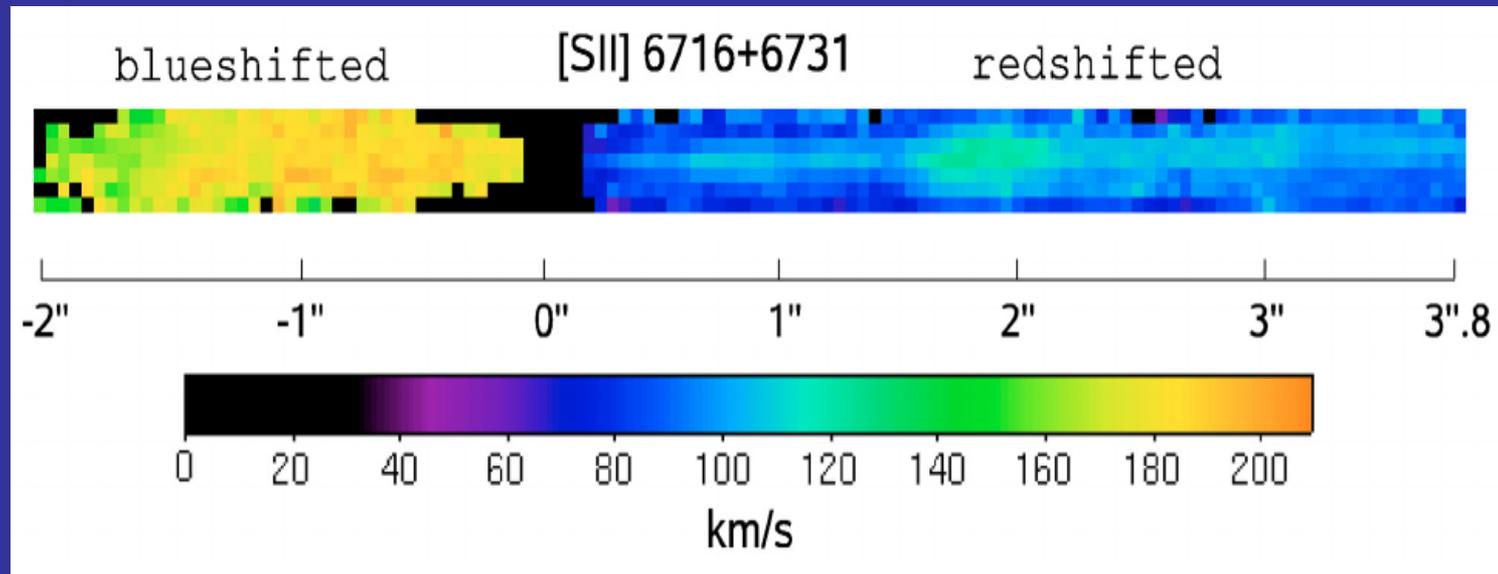
по синему лепестку  $380 \pm 40$  лет

по красному лепестку  $320 \pm 50$  лет

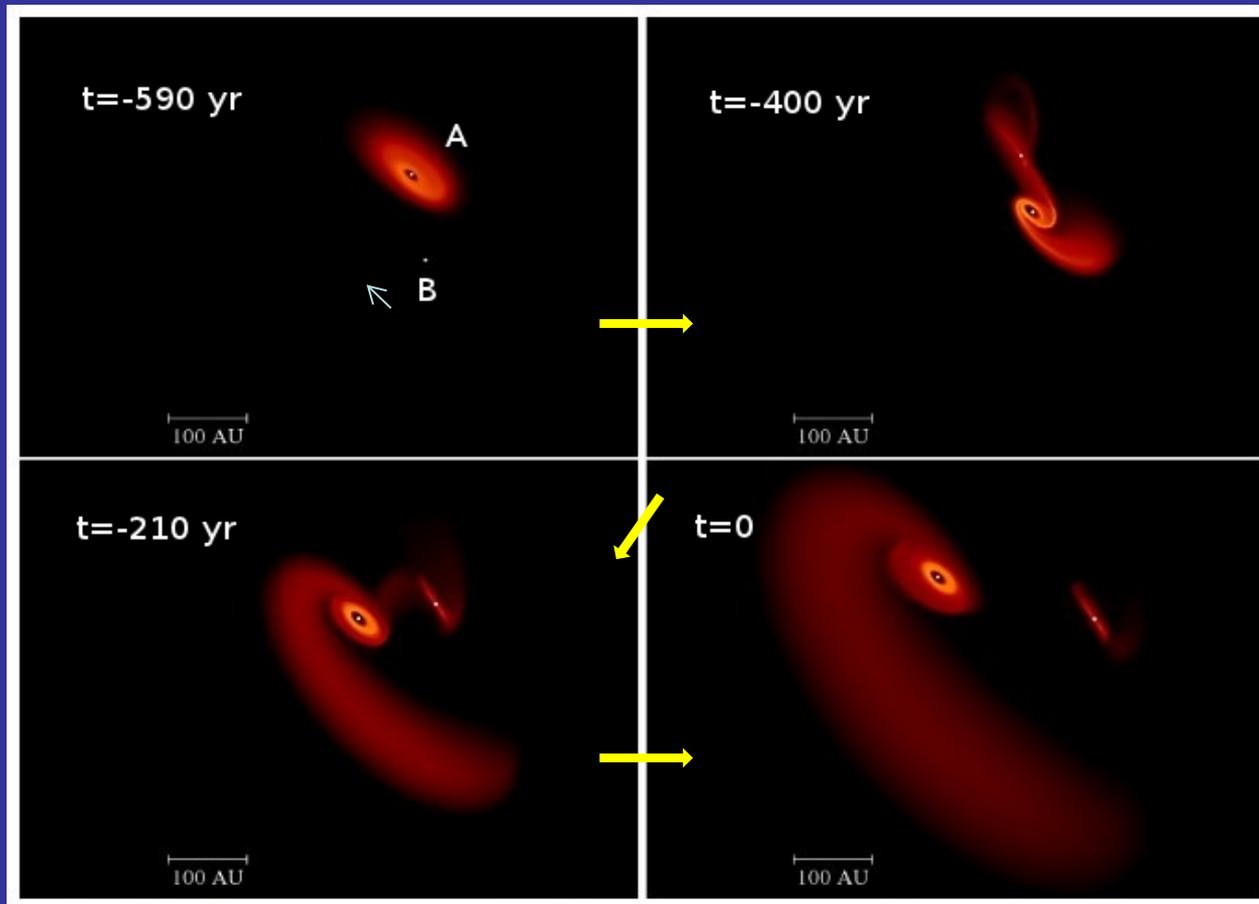


Примем:  $t_{\text{jet}} \approx 350$  лет

# Лучевая скорость во внутренних областях джета (Melnikov et al., 2009, A & A 506, 763)



Возможная причина асимметрии джета –  
различное распределение околозвездного вещества  
над диском и под ним,  
возникшее из-за пролета спутника.



Через апоастр спутник пролетел  $\approx 400$ - $450$  лет назад ( $R_{\min} = 70$  а.е.), а 600 лет назад даже внешние области диска не были заметно искажены.

→ Возмущение от внешнего края диска до магнитосферы RW Aur A дошло менее чем за  $t_{\text{exc}} \approx 300$  лет.

Характерное время перестройки радиальной структуры диска RW  
Aur A ("вязкое время")

$$T_{\text{vis}} = (2 \pi \alpha)^{-1} \cdot (R_{\text{out}}^3 / GM)^{1/2} (H/R_{\text{out}})^{-2},$$

(Аболмасов и др., 2016), где  $M = 1.4 M_{\odot}$  (Woitas et al., 2001) – масса звезды,  $R_{\text{out}} \approx 60$  а.е. (Dai et al., 2015) – внешний радиус диска до пролета спутника,  $\alpha$  и  $H$  – параметр Шакуры-Сюняева и полутолщина диска на внешней границе соответственно.

Характерными для дисков CTTS считаются значения  $\alpha \sim 0.01$  и  $H/R \sim 0.1$  (Hartmann et al., 2016) 

$$T_{\text{vis}} \sim 6 \cdot 10^5 \text{ лет} \gg t_{\text{exc}} \approx 300 \text{ лет.}$$

Оценим теперь за какое время  $t_{\text{hyd}}$  пройдет диск звуковая волна, "информирующая" внутренние области об изменении давления на внешней границе диска. Температура на внешней границе невозмущенного диска RW Aur A  $\approx 30$  K (Cabrit et al., 2006), а в нашу эпоху температура газа (уже нагретого приливным взаимодействием)  $\approx 80 \pm 20$  K. Поскольку газ внешних областей диска состоит, главным образом, из  $\text{H}_2$ , получаем, что скорость звука  $V_s$  в этой области с точностью 30% можно принять равной 0.6 км/с.

Следовательно,

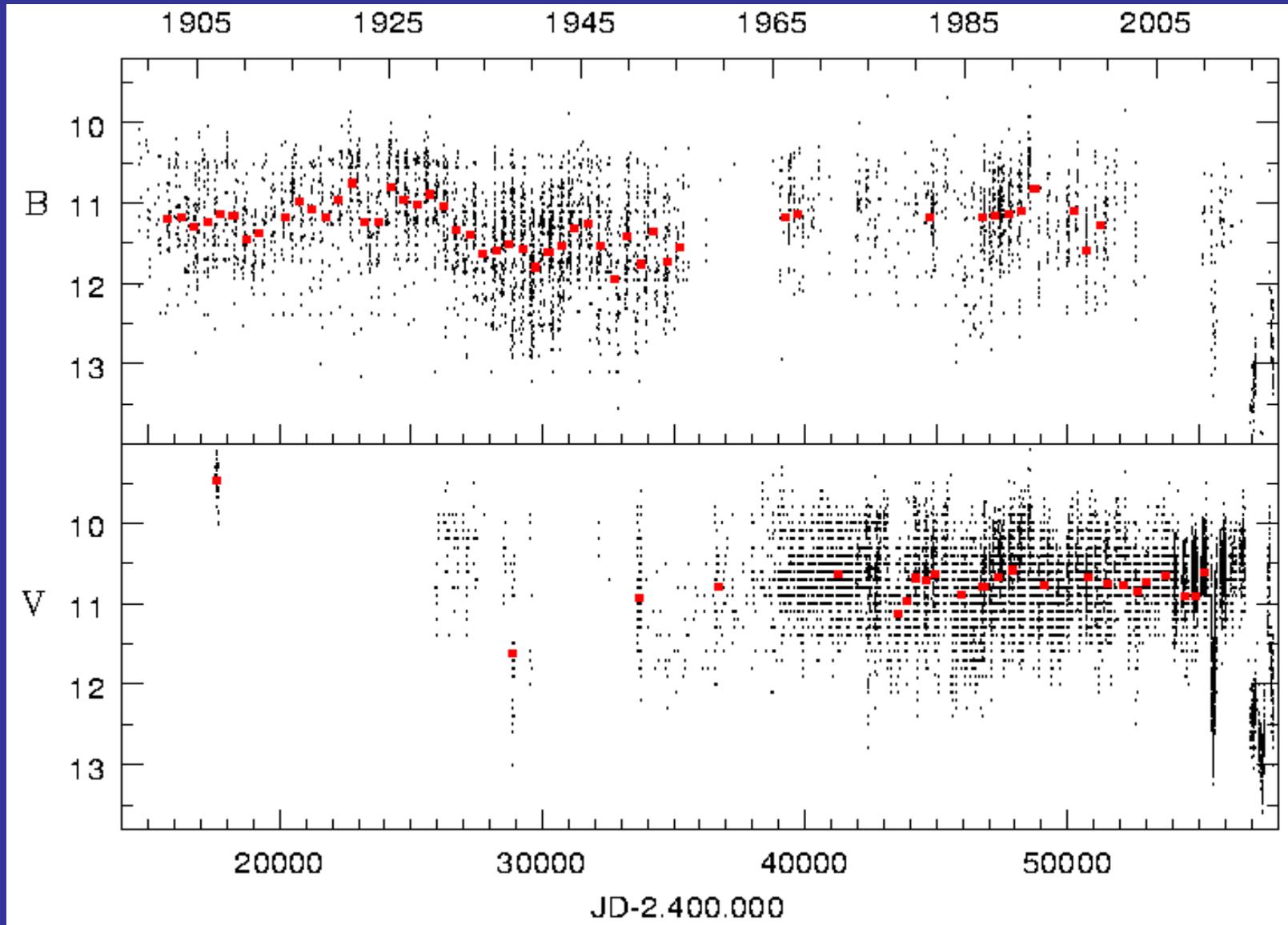
$$t_{\text{hyd}} \sim R_{\text{out}} / V_s \sim 500 \text{ лет.}$$

Наблюдаемая сейчас разность скоростей спутника и главной звезды порядка нескольких км/с (White & Hillebrandt, 2004; Бисикало и др., 2012), поэтому относительная скорость звезд при их сближении примерно на порядок превышала  $V_s$ .

Если отсюда следует, что возмущение распространялось по диску со сверхзвуковой скоростью, по крайней мере, в самых внешних его областях, то время  $t_{\text{hyd}}$  полностью согласуется с ограничением, вытекающем из наших наблюдений:  $t_{\text{exc}} < 300$  лет.

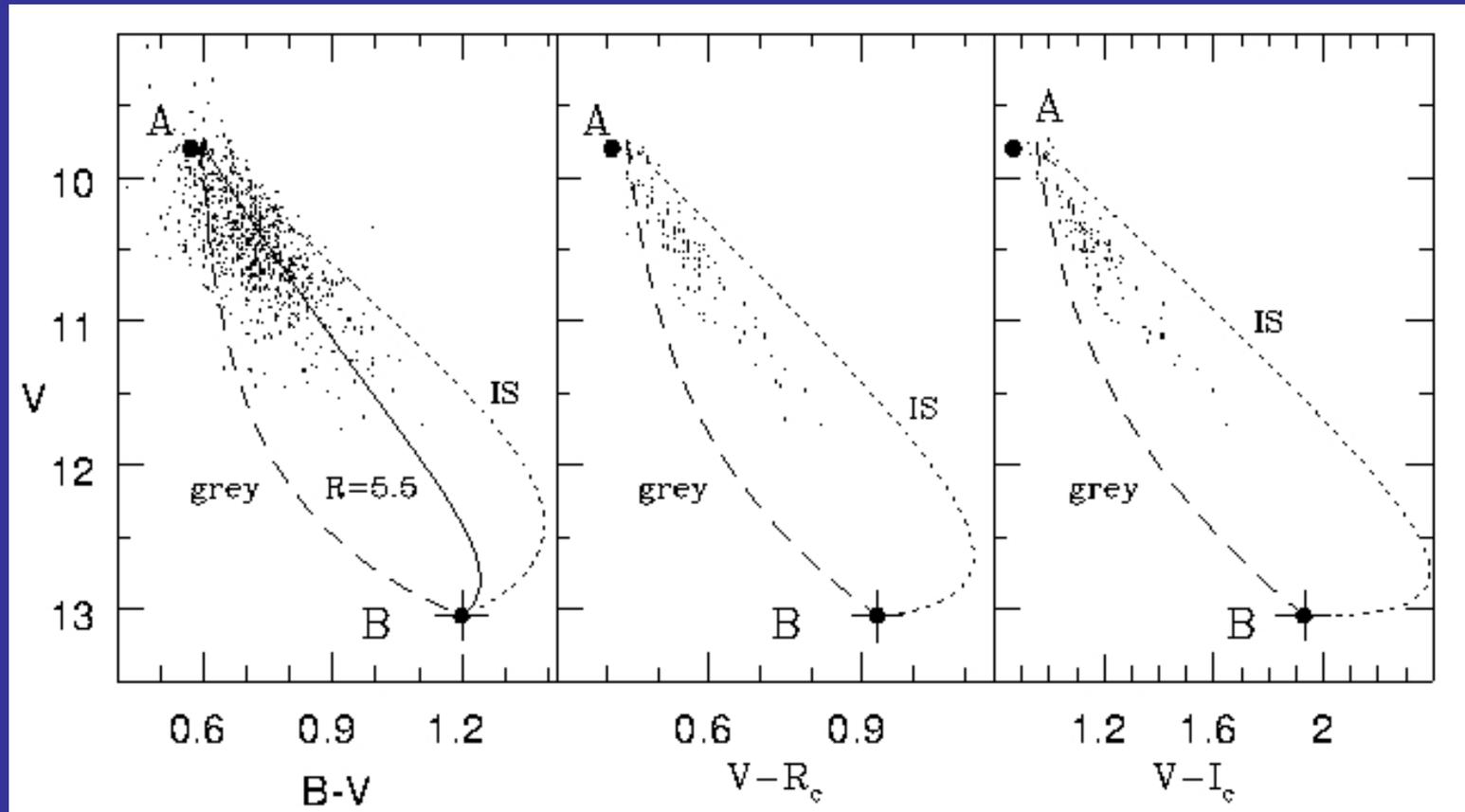
Но это - не вся история !

# Историческая кривая блеска RW Aur (A+B)



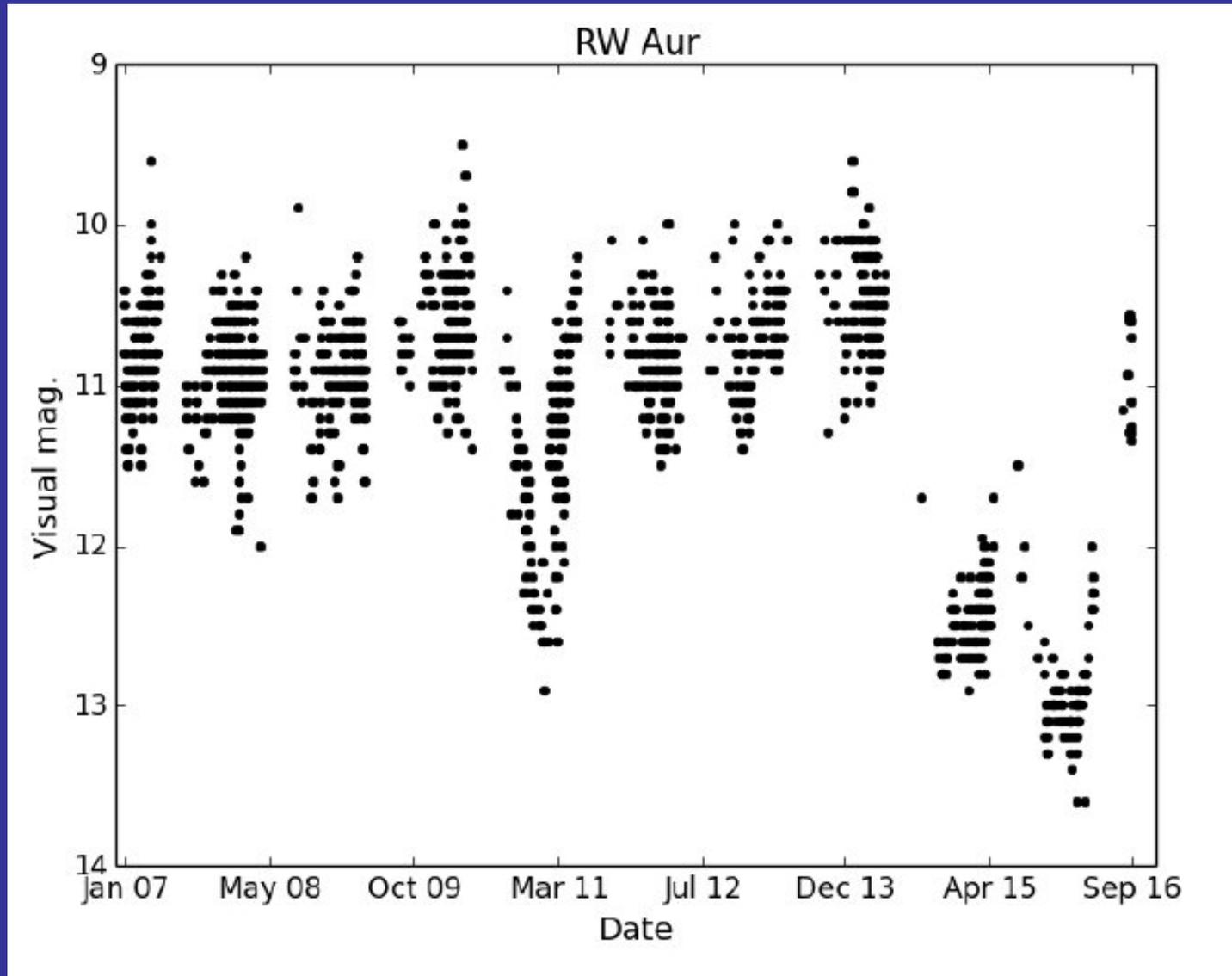
После 2010 г. началась серия глубоких и продолжительных затмений

Вариации блеска – следствие переменности темпа аккреции и околозвездной экстинкции (Петров и Козак, 2006)

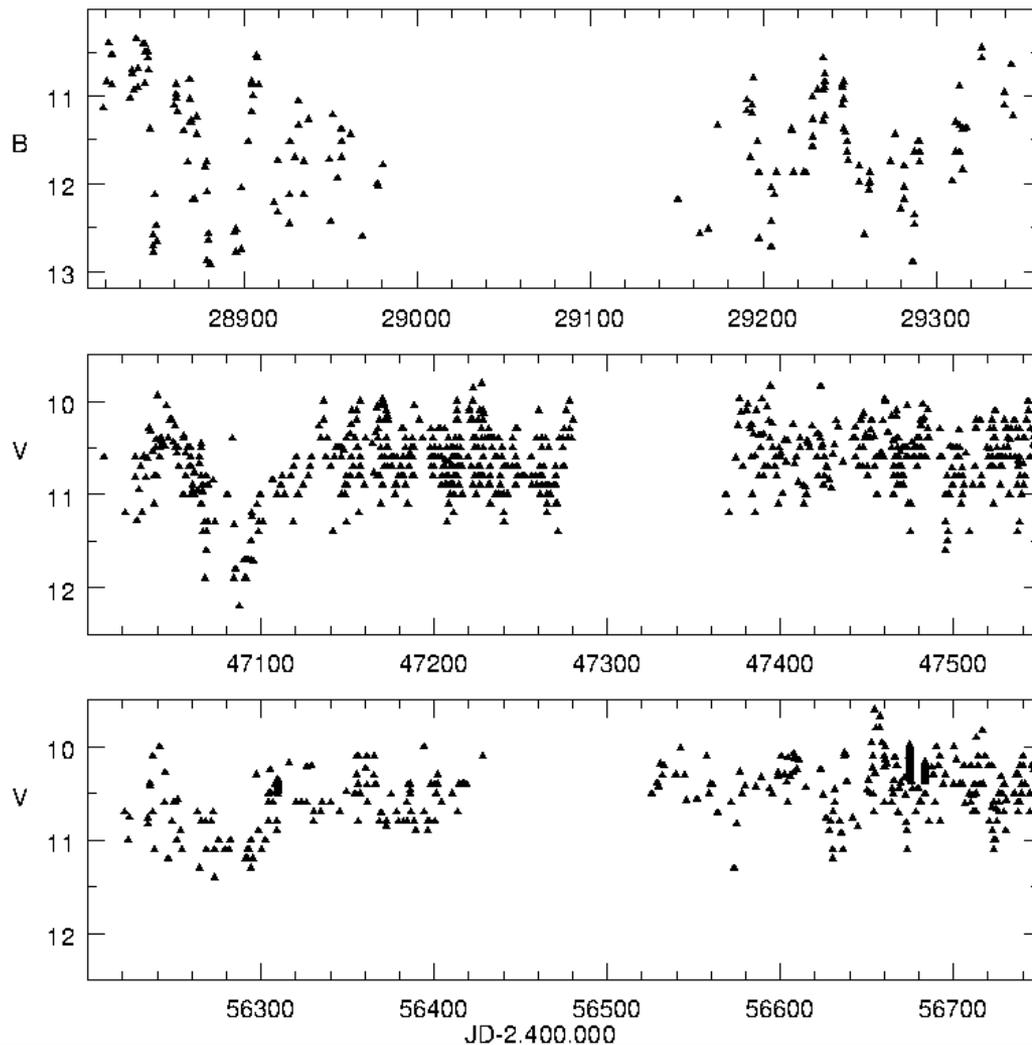


Но: 1)  $N_H \approx 10^{20} \text{ см}^{-2}$  вне затмений !  $H_2$  ?  
2) Диск виден под углом  $> 30^\circ$  !

# Two deep long dimming of RW Aur

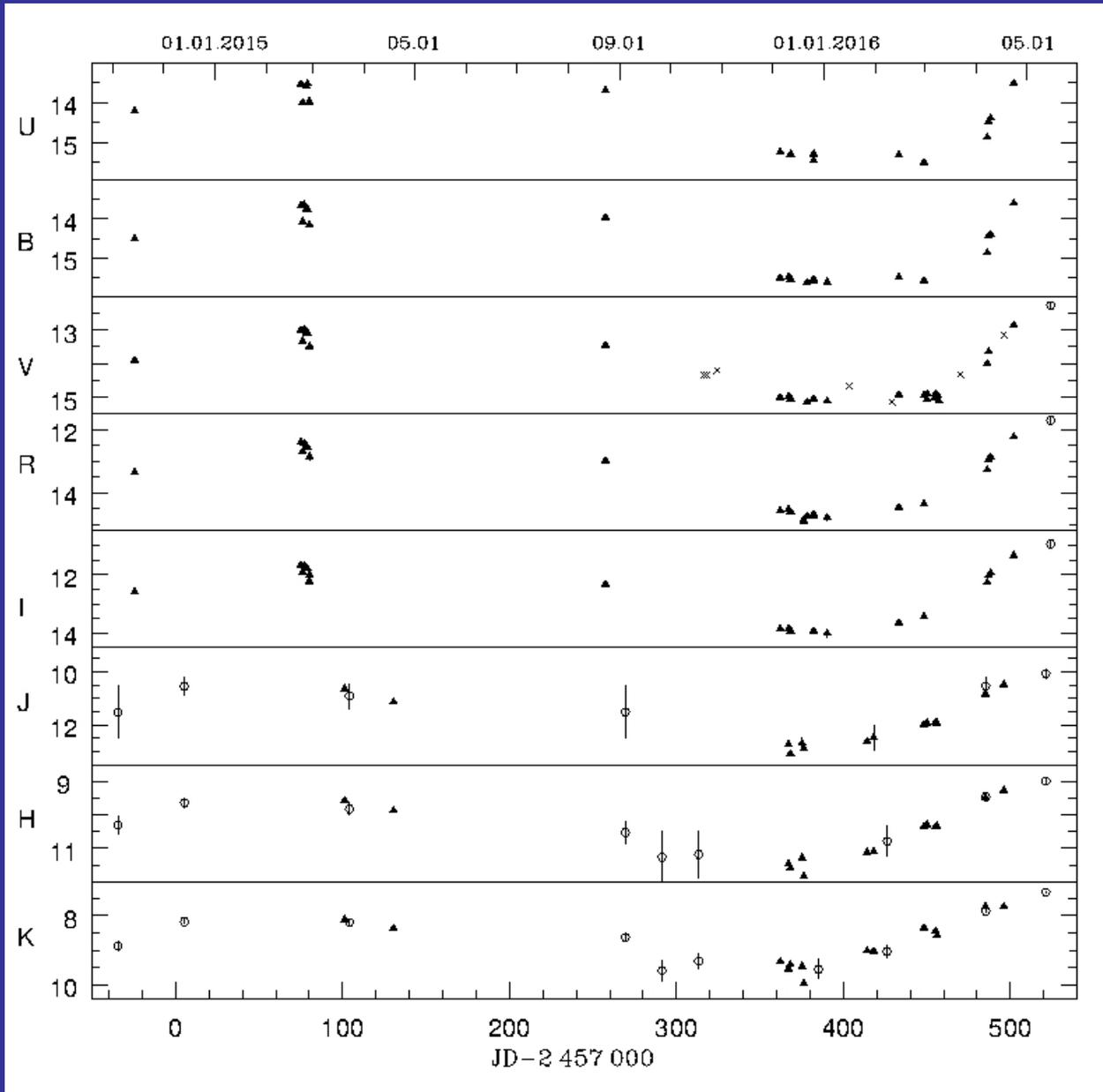


from *Bozhinova et al., 2016, MNRAS tmp.1433B*



Ослабления блеска наблюдались и до 2010 г,  
но не такие глубокие и продолжительные

# Resolved UBVR IJHK photometry of RW Aur A

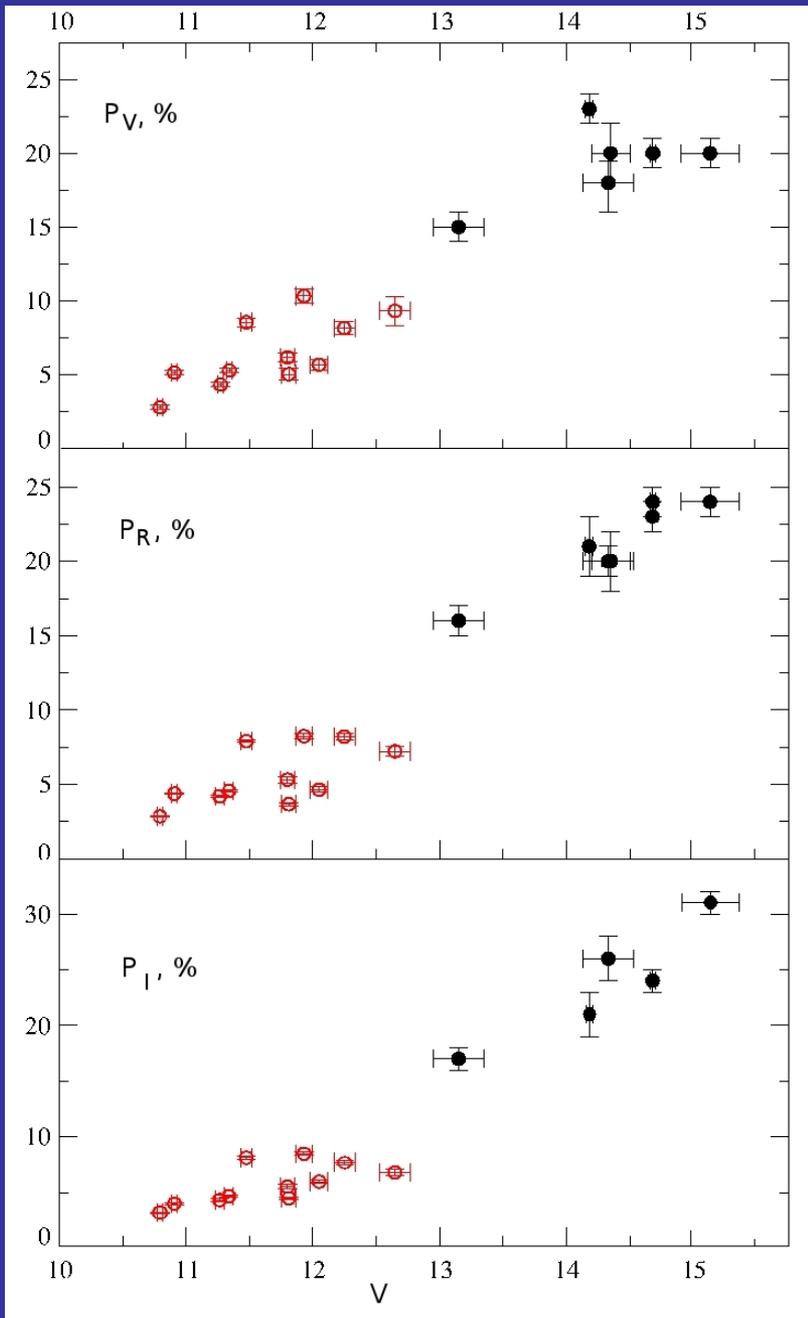


- 1)  $\Delta t \sim 2$  yr
- 2)  $\Delta V \sim 5$  mag
- 3) Plateau !!!

$P_V$

$P_R$

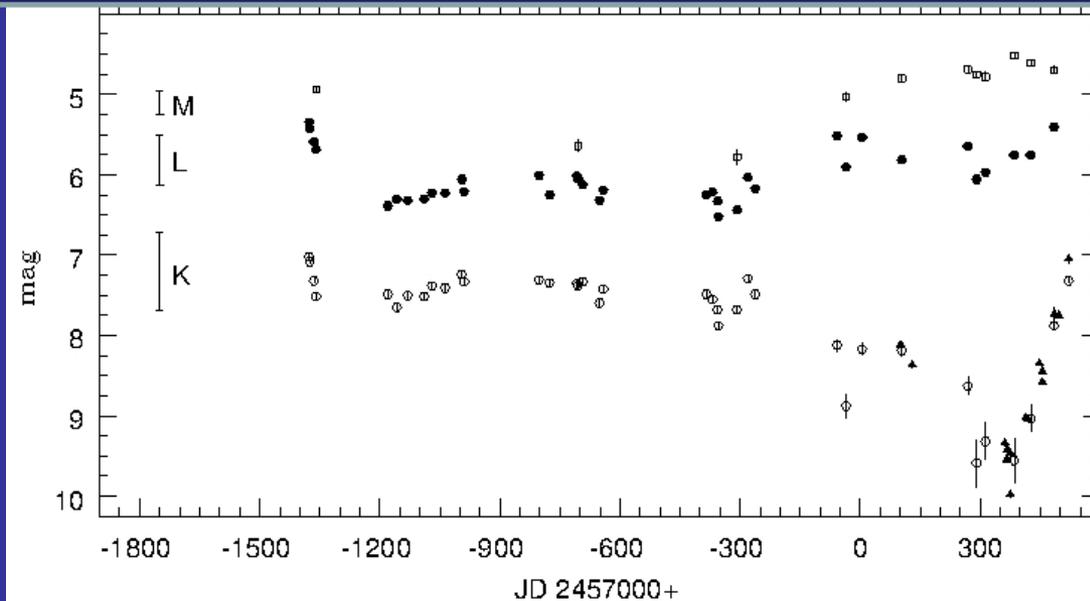
$P_I$



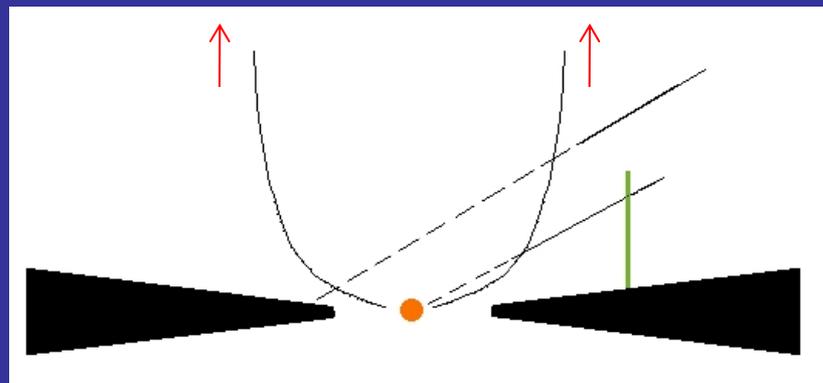
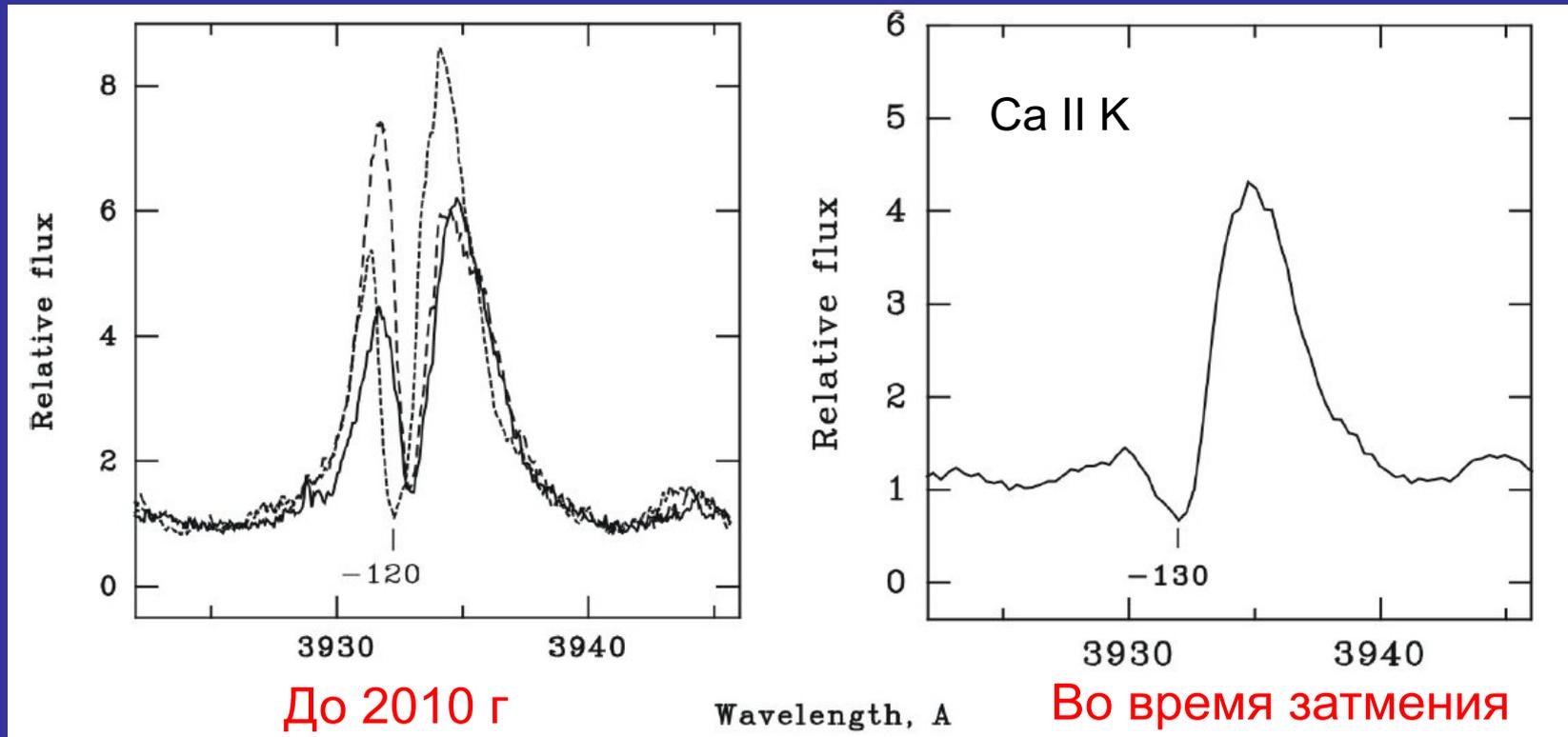
Затмевает пыль !

Это близкая пыль:  $r < 1$  а.е. !!!

Flux rise at  $\lambda > 3.5$   $\mu\text{m}$   
(*Shenavrin et al., 2015*)



# Dusty disk wind ? (Petrov et al., 2015)



Что бы ни играло роль «пылевого экрана» (запыленный ветер, «горб» на диске и т.п.), его появление -- результат перестройки структуры внутренних областей диска, вызванный пролетом спутника.

Но почему эта перестройка произошла спустя  $t_{\text{jet}} \approx 350$  лет после начала бурной аккреции?

## Выводы-проблемы

- 1) Джет родился 350 лет назад ?
- 2) Интенсивная аккреция началась, когда звуковая волна прошла по радиусу?
- 3) Асимметрия лепестков джета – следствие асимметричного расположения околозвездного вещества вследствие пролета спутника ?
- 4) Глубокие продолжительные ослабления блеска после 2010 г – тоже следствие пролета спутника?  
Но почему они начались так поздно?