

Автор: Grace Treanor

V379 Vir — слабо аккрецирующий поляр с коричневым карликом

Сусликов М.В.^(1,2), Колбин А.И.^(1,2), Борисов Н.В.⁽¹⁾, Буренков А.Н.⁽¹⁾

1. Специальная астрофизическая обсерватория РАН
2. Казанский (Приволжский) федеральный университет

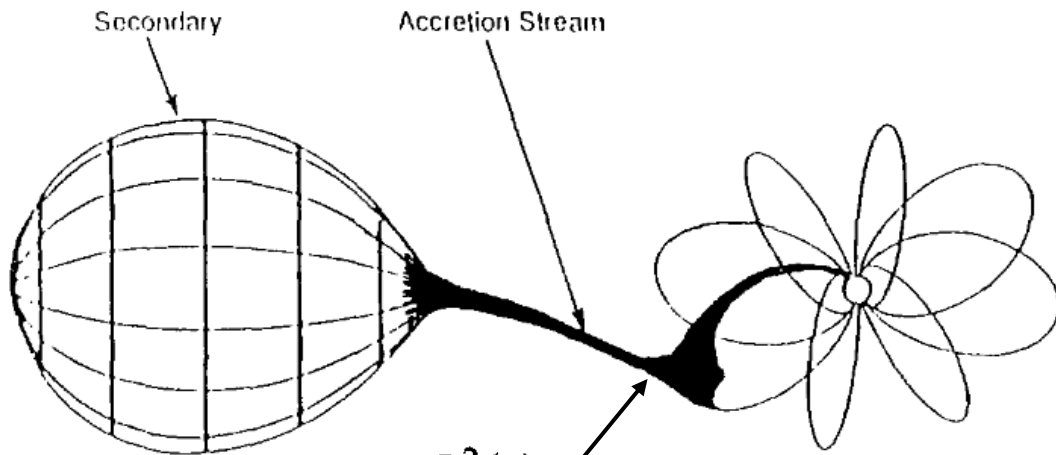


Поляры (тип *AM Her*)

Поляры (тип *AM Her*) – катаклизмические переменные с сильным магнитным полем ($B \sim 10^6 - 10^7$ Гс). Излучение имеет высокую степень поляризации. Механизм аккреции – захват вещества магнитным полем белого карлика.

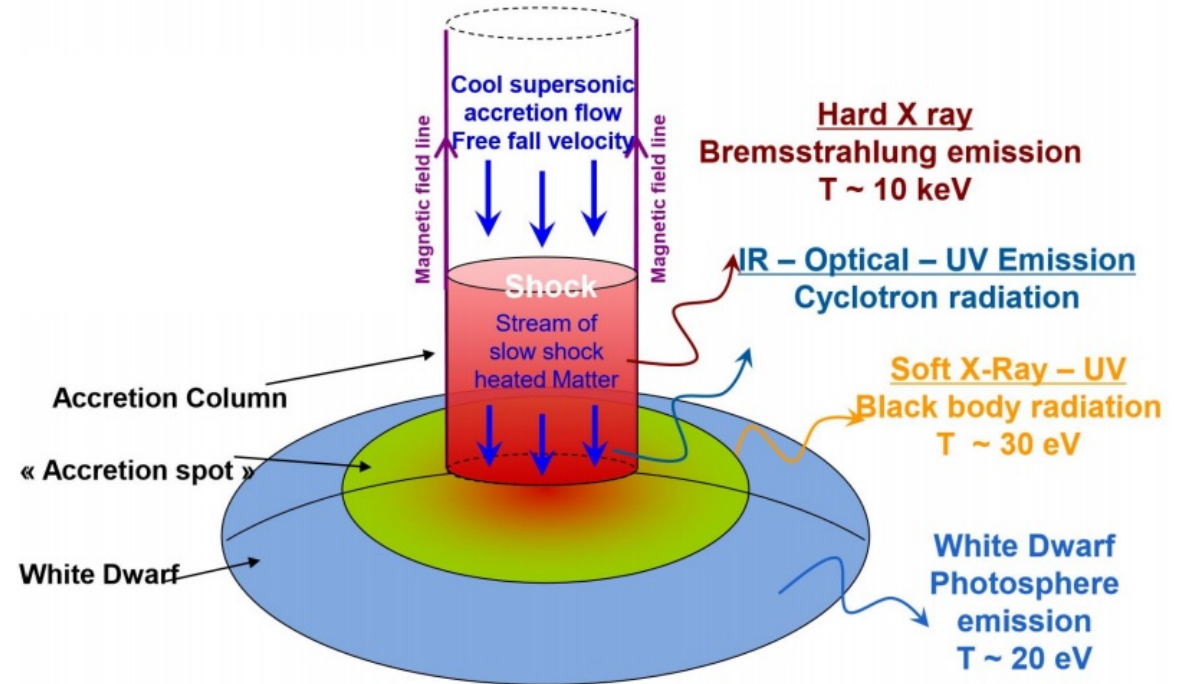
Характерные особенности:

- Магнитное поле БК $\sim 10^6 - 10^7$ Гс.
- $P_{orb} = 70 - 220$ мин. Синхронизация P_{orb} и P_{rot}
- Аккреционная струя (баллистическая + магнитная)
- Аккреционная колонка (высота $H \sim 0.01 - 0.1 R_{wd}$)



$$\frac{B^2(r)}{8\pi} = \rho(r)v_{in}^2(r)$$

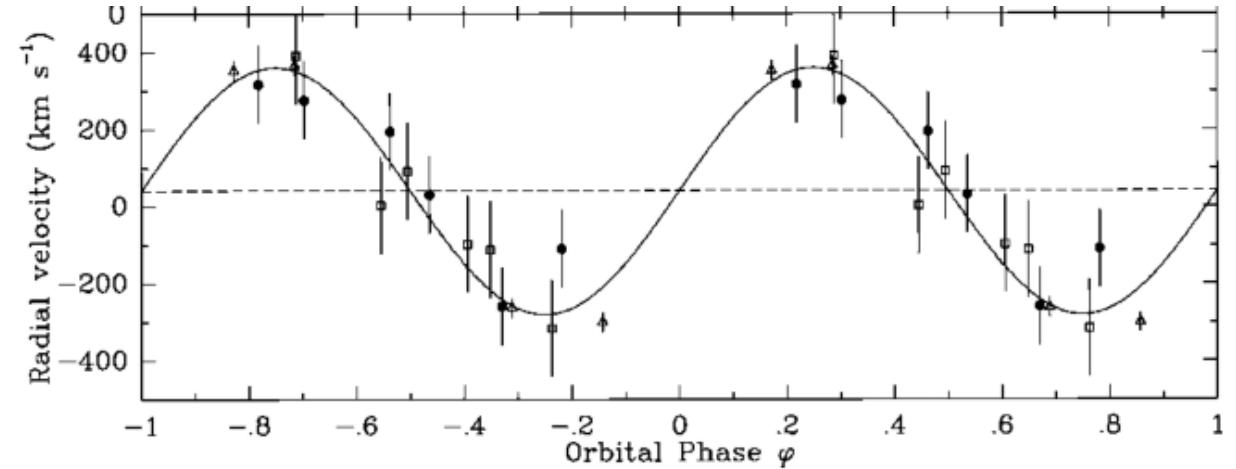
Структура аккреционной колонны и основные механизмы охлаждения



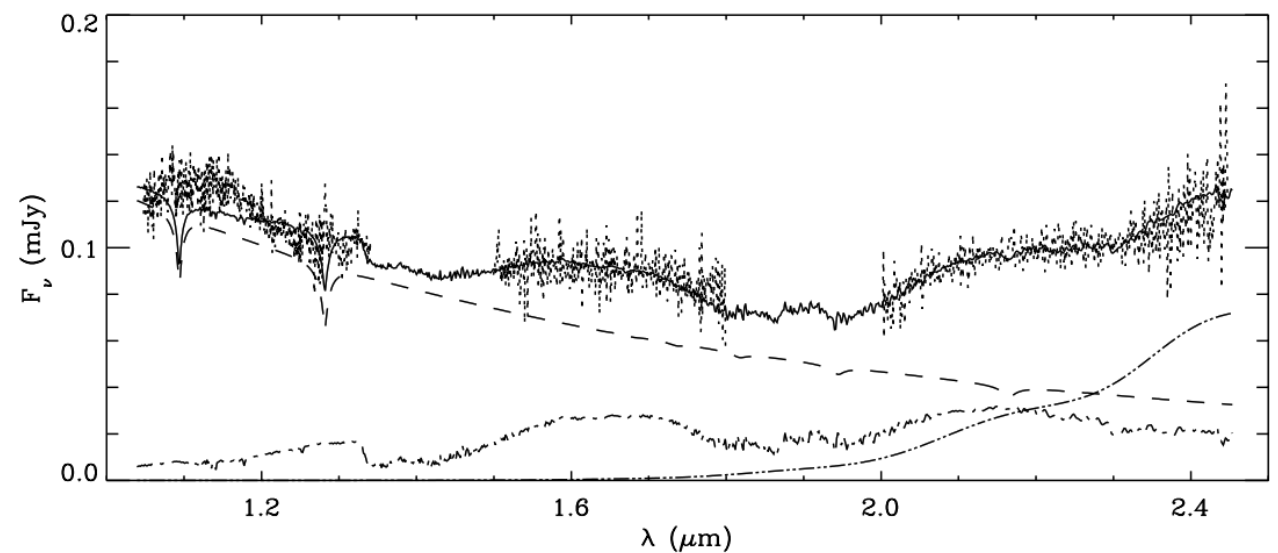
Ранние исследования V379 Vir

- Катаклизмическая переменная, $P_{\text{orb}} \approx 90$ мин (Schmidt и др. 2005)
- Фотометрическая переменность в видимом диапазоне (Burleigh и др., 2006)
- Избыток потока в ИК континууме – коричневый карлик L5-L7 (Debes и др. 2006); переменность в K_s кривой блеска – циклотронное излучение.
- ИК спектры V379 Vir – коричневый карлик L8 + циклотронное излучение (Farihi и др., 2008)
- Кривые блеска в среднем ИК – сильная циклотронная переменность (Harrison и др. 2015)
- Темп аккреции: $10^{-14} M_{\odot}/\text{год}$ (Stelzer и др. 2017)

Кривая лучевых скоростей линии H_{α} (Schmidt et al., 2005)



Спектр V379 Vir в ближнем ИК диапазоне (Farihi и др., 2008)



Наблюдения и обработка данных

Фотометрические наблюдения

Телескоп РТТ-150 / TFOSC

Национальная турецкая обсерватория TUBITAK

Дата наблюдений: 7-8 апреля 2022

Полоса пропускания – В системы Джонсона

Время одной экспозиции – 120 сек.

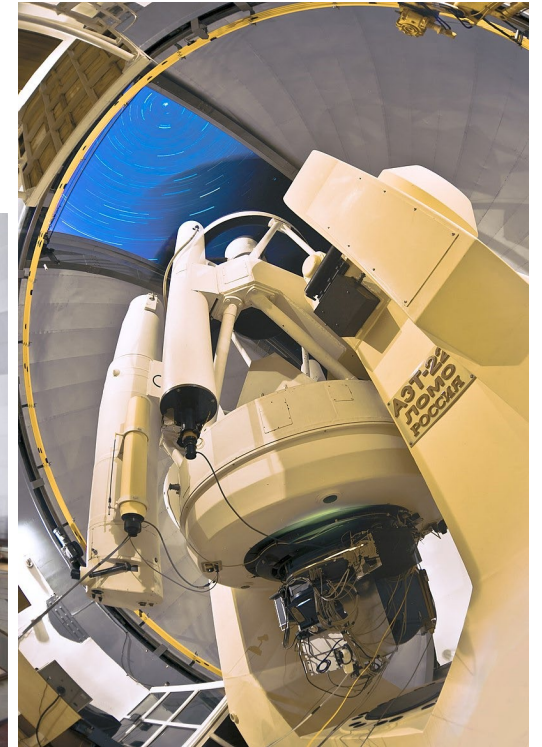
Спектральные наблюдения

Телескоп БТА / SCORPIO-1

Специальная астрофизическая обсерватория РАН



Автор: Сусликов М.В.



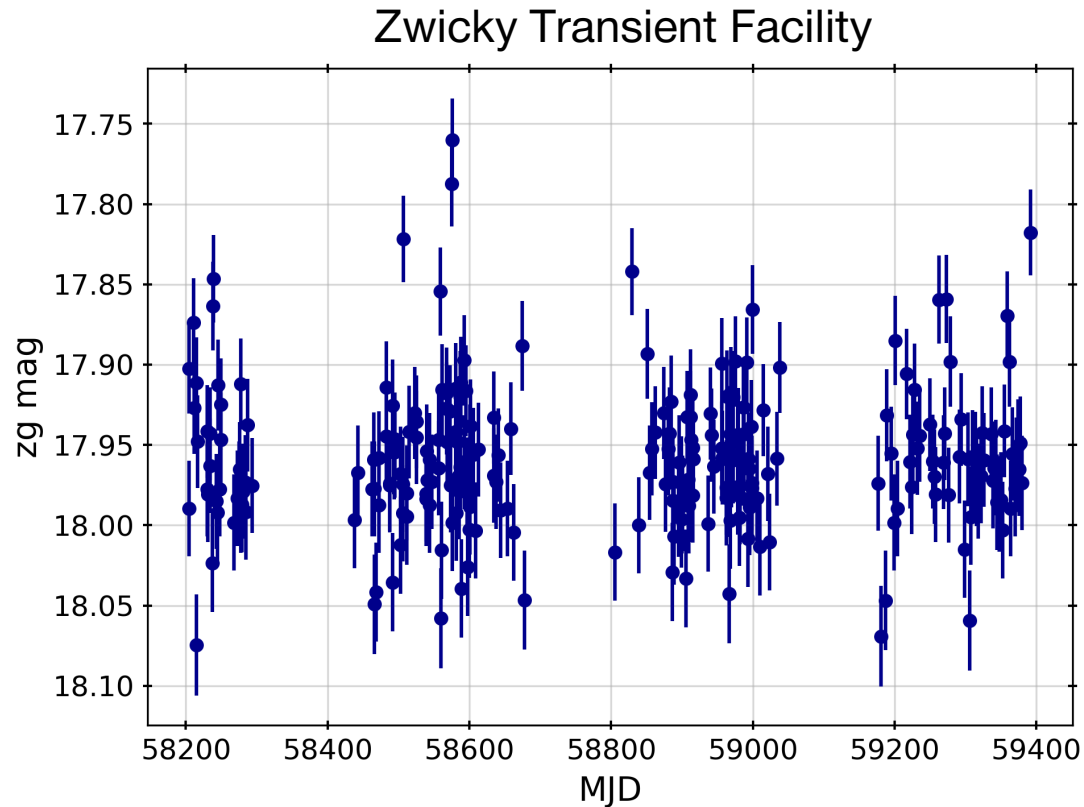
Автор: Жучков Р.Я.

Дата наблюдений	Наблюдатели	Дисп. элемент	Диапазон спектра, Å	Время экспозиции, сек	Кол-во спектров
07-08 мая 2007	Борисов Н.В., Шиманский В.В.	VPHG1200G	4000 – 5700	300	15
25-26 апреля 2022	Буренков А.Н.	VPHG550G	4000 – 7300	300	22

Обработка полученных данных: IRAF + python-скрипты (astropy, ccdproc, и т. д.)

Применен метод rsf-фотометрии. Выполнена оптимальная экстракция спектров.

Дополнительные данные



Уточнение периода LS-методом

$$T (\text{BJD}) = 2453798.6359(2) + 0.061407(2) E$$

Потоки из каталогов MAST, SDSS, VizieR

- Swift UVOT UVW2
- GALEX FUV/NUV
- SDSS ugriz
- VISTA ZYJHK_s

ИК кривые блеска

- PANIC JHK_s (Debes и др., 2006)
- Spitzer IRAC I1, I2, I3, I4 (3.6 - 8.0 мкм) (Harrison и др., 2015)

Спектральное распределение энергии

Синтетическая фотометрия

Модель спектра DA белого карлика (Koester, 2010)

$T_{\text{eff}} : 5000 - 80000 \text{ K}$
 $\log(g) : 6.5 - 9.5$

Модель спектра коричневого карлика BT-Settl (Allard, 2012)

$T_{\text{eff}} : 400 - 2900 \text{ K}$
 $\log(g) : 3.5 - 5.5$
 $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.0$

Модель источника циклотронного излучения (Rousseau и др., 1996)

$I_{\text{cyc}} = f(\dot{m}, B, M_{\text{wd}})$

$$\chi^2 = \sum_k^l \frac{(f_{\nu,k} - f_{\nu,k}^{\text{obs}})^2}{\sigma_k^2} \rightarrow \min$$

$$f_{\nu,k} = \theta_{\text{wd}}^2 f_{\nu,k}^{\text{wd}} + \theta_{\text{bd}}^2 f_{\nu,k}^{\text{bd}} + \theta_{\text{cyc}}^2 f_{\nu,k}^{\text{cyc}}$$

θ – угловой радиус источника

Структурированная область аккреции

Бомбардировочный режим аккреции

$$T_{\max} = 1.90 \times 10^8 \dot{m}_{-2}^{0.42} B_7^{-1.08} M_*^{0.66} \text{ K}$$

$$x_s = 9.89 \times 10^{-3} \dot{m}_{-2}^{0.30} B_7^{-0.79} M_*^{1.72}$$

Критерий выполнения (Campbell, 2008):

$$\dot{m} B_7^{-2.6} < 0.1 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$$

Температурный профиль

$$\log t = \alpha (\log z - \epsilon)^{-n} + \beta (\log z - \epsilon) + \gamma$$

$$t = T/T_{\max}(\dot{m}, B, M)$$

$$z = x/x_s(\dot{m}, B, M)$$

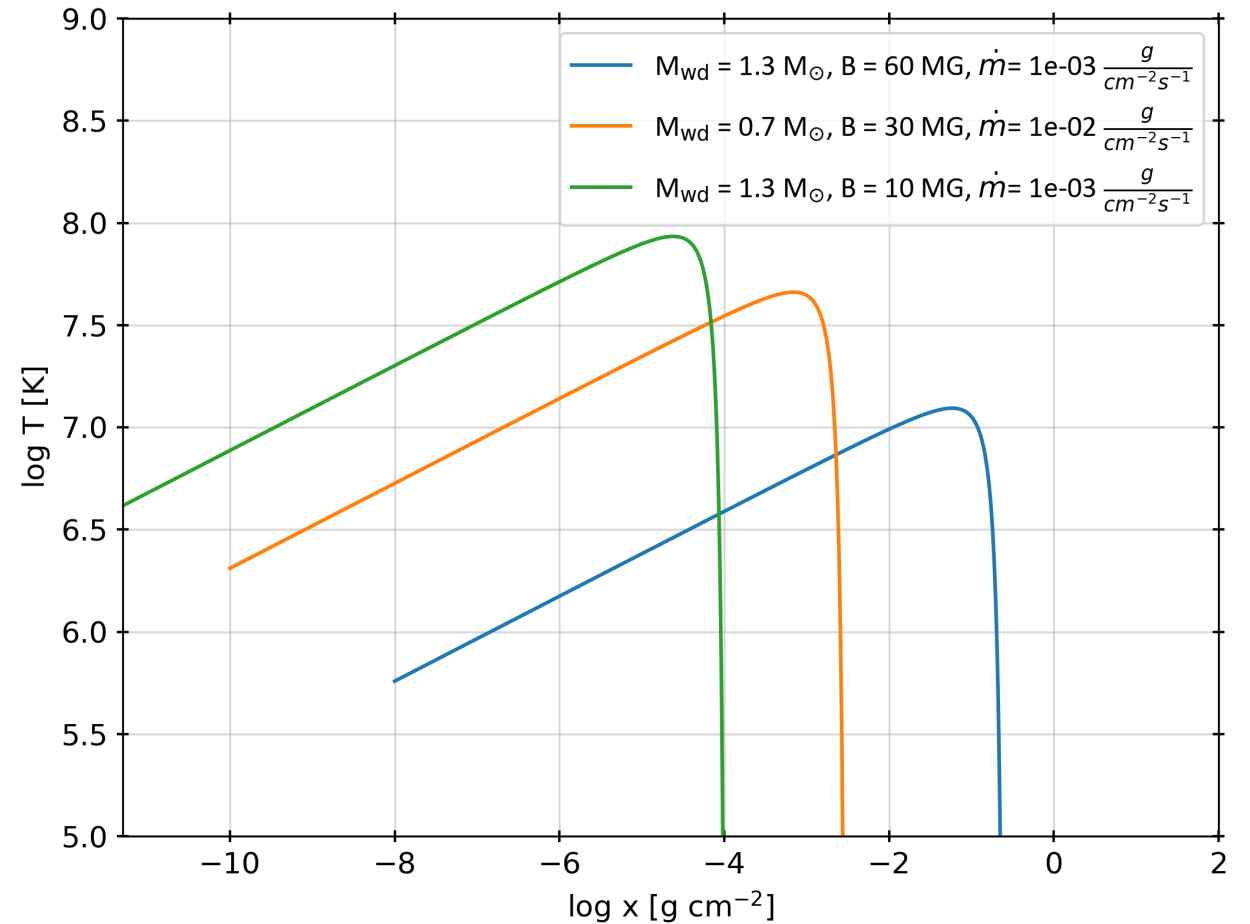
$$\alpha = -0.0374$$

$$\beta = 0.2082$$

$$\gamma = 0.2220$$

$$\epsilon = 0.2005$$

U. Woelk, K. Bauermann. (1993)



Уравнение переноса излучения

$$\frac{dI_{o,e}}{dx} \cos \theta = \frac{\alpha_{o,e}(\omega, \theta, T) I_{o,e}(\omega, \theta, T)}{\rho \cos \theta} - \frac{\alpha_{o,e}(\omega, \theta, T) B(\omega, T)}{2\rho \cos \theta}$$

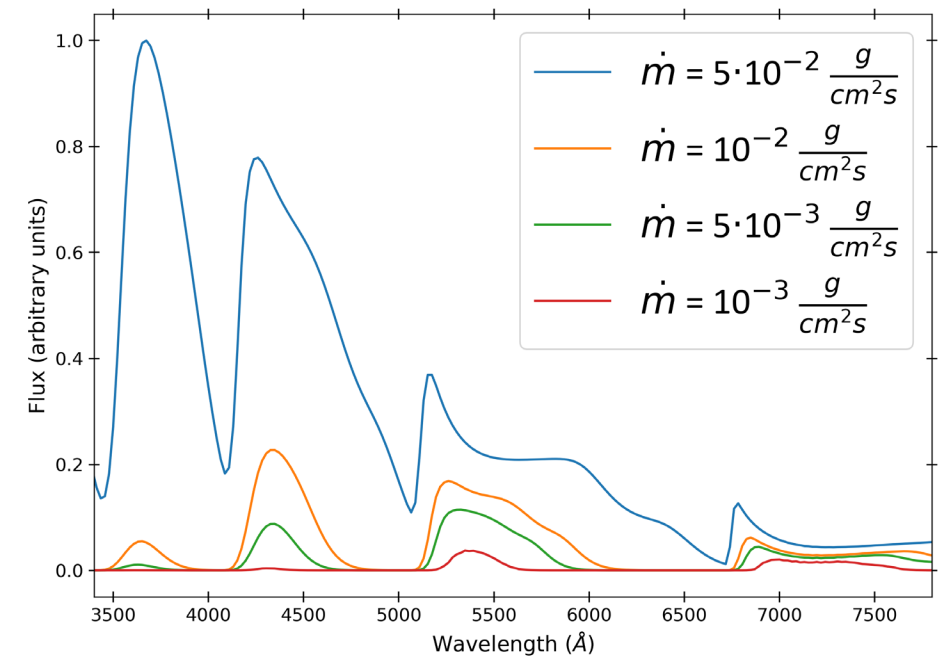
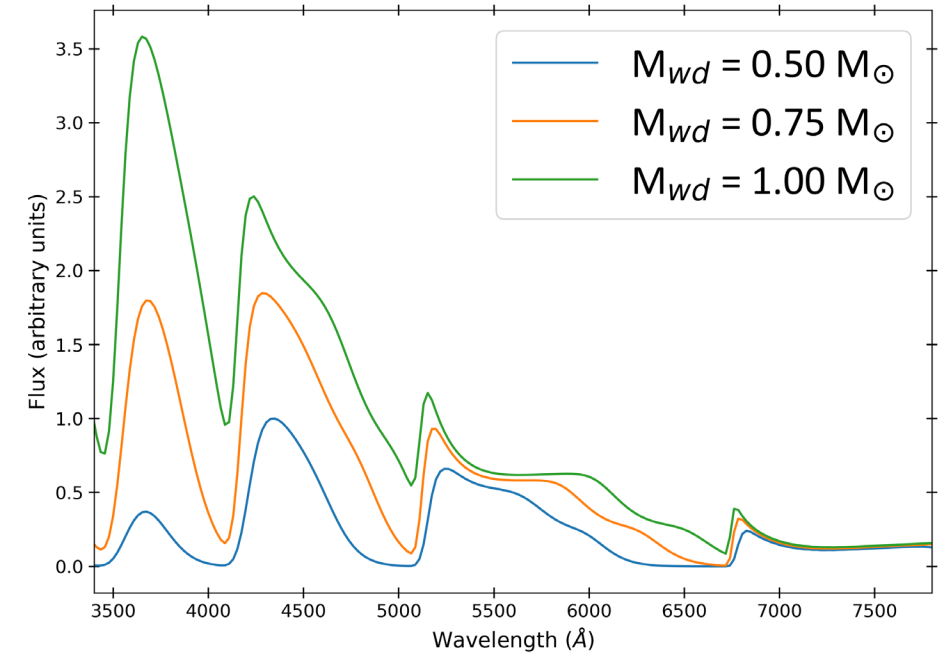
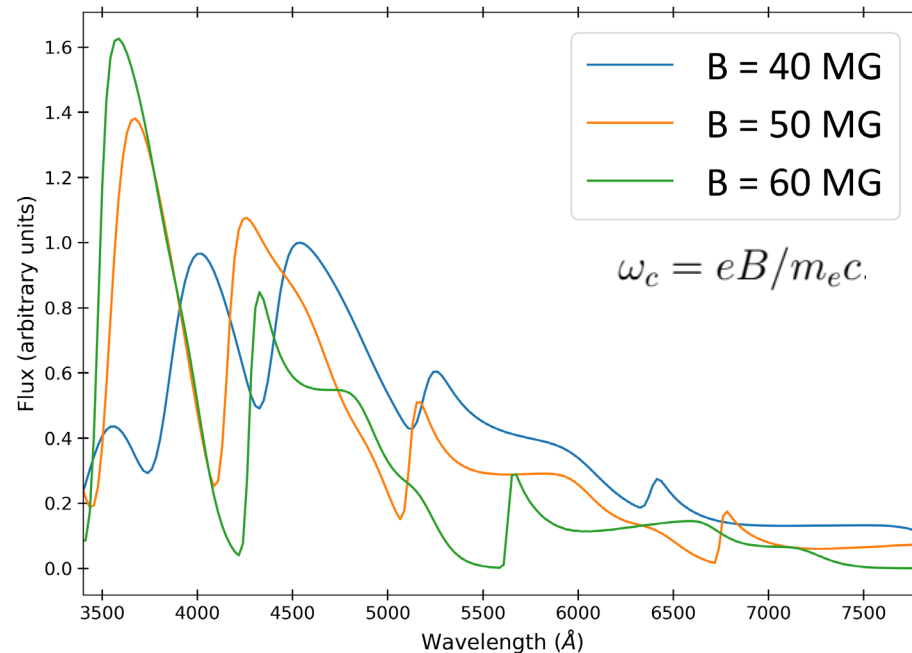
$$I_{o,e}(\omega, \theta, T) = \int_0^{x_s} \frac{\alpha_{o,e}(\omega, \theta, T)}{2\rho \cos \theta} B(\omega, T) \exp\left(-\int_0^x \frac{\alpha_{o,e}(\omega, \theta, T)}{\rho \cos \theta} d\tilde{x}\right) dx$$

$$I(\omega, \theta, T) = I_o(\omega, \theta, T) + I_e(\omega, \theta, T) \quad \text{Rousseau и др. (1996)}$$

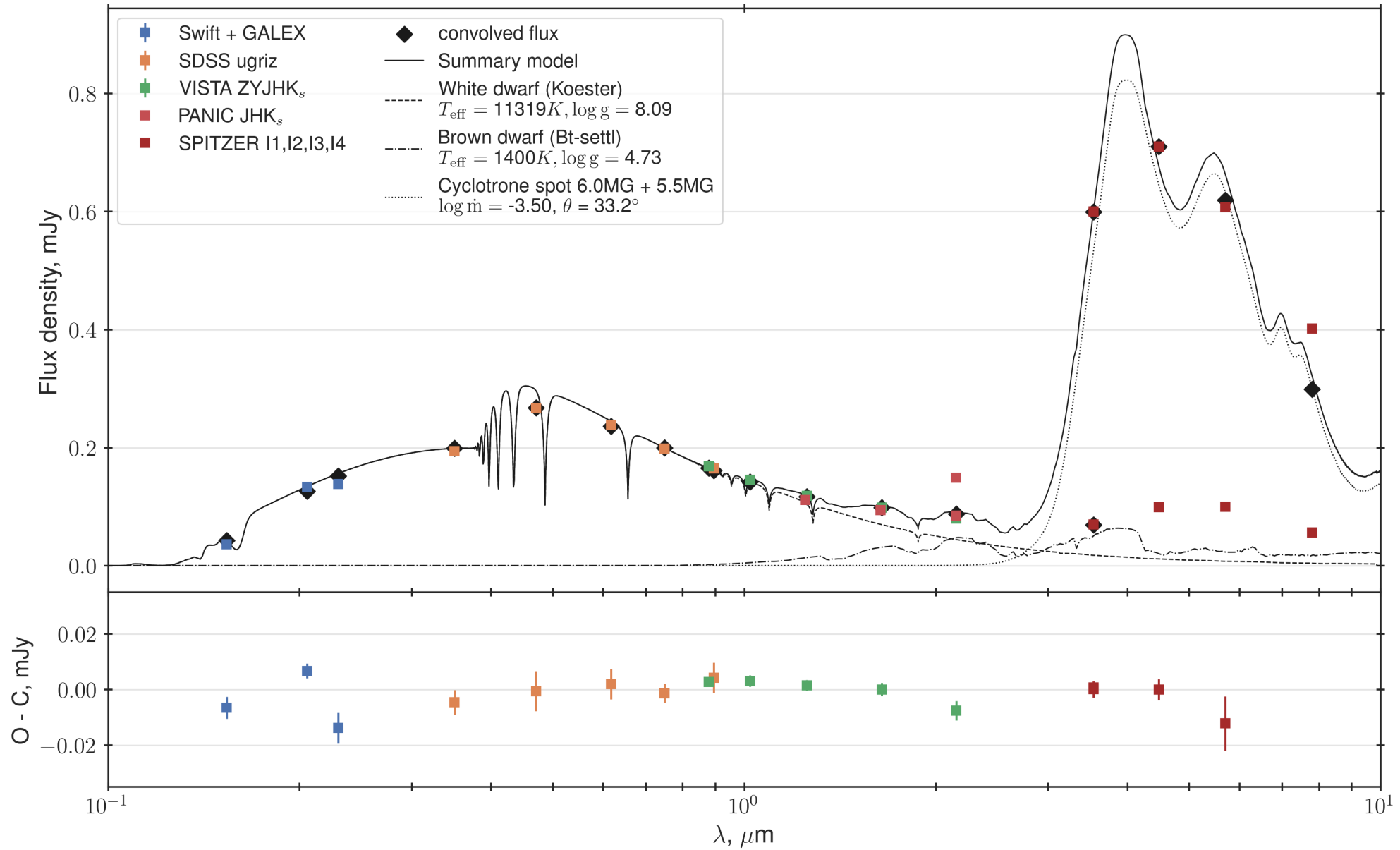
$\rho = \rho(x)$ – вертикальный профиль плотности

$\alpha_{o,e}(\omega, \theta, T)$ – коэффициенты поглощения для двух мод поляризации

Chanmugam, Dulk (1981)



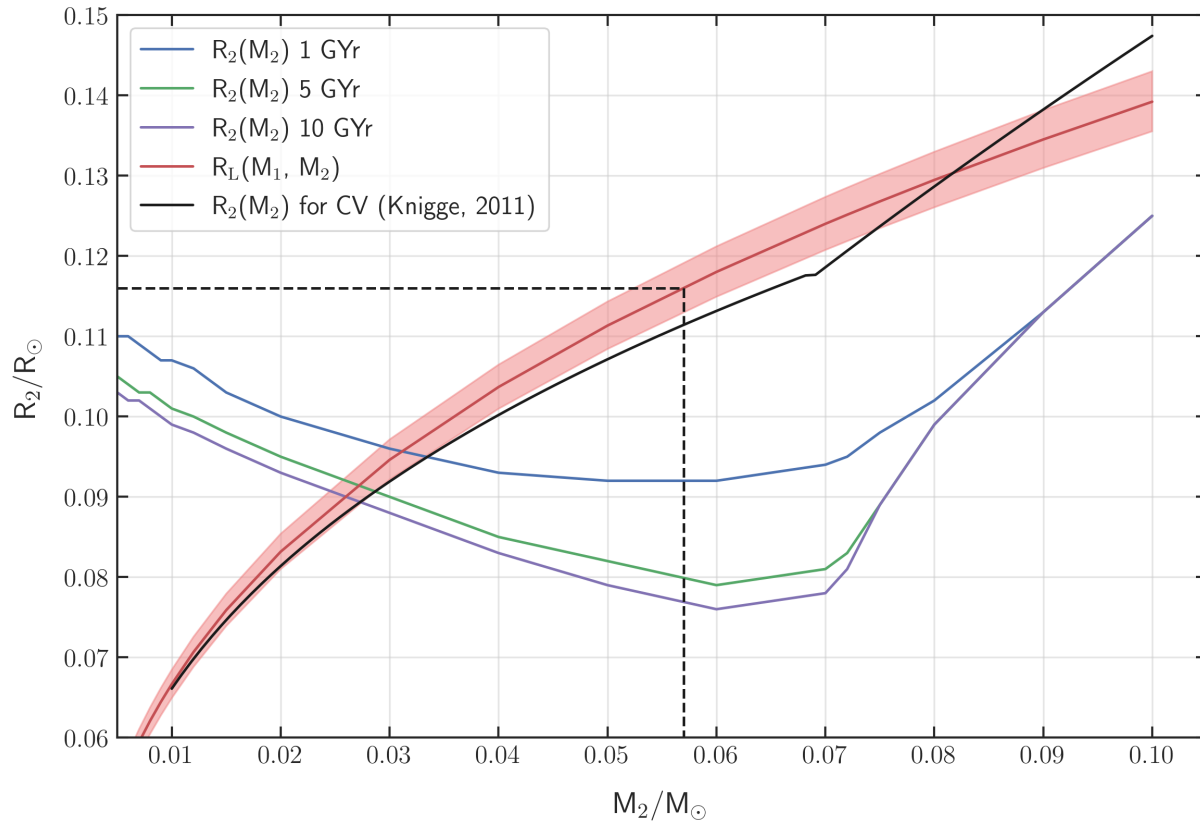
Спектральное распределение энергии



Спектральное распределение энергии

Определение масс

- Аналитическая зависимость «масса – радиус» для белых карликов (Nauenberg, 1972)
- Аналитическая зависимость «масса – радиус» для вторичных компонент в КП (Knigge и др., 2011)



Оценка темпа аккреции

$$L_{\text{acc}} \approx L_X + L_{\text{cyc}}$$

$$L_{\text{acc}} = \frac{GM\dot{M}M_{\text{wd}}}{R_{\text{wd}}}$$

$$\dot{M} = 2.05 \times 10^{-13} M_{\odot}/\text{год} \quad \left| \quad \dot{M} = 3.2 \times 10^{-13} M_{\odot}/\text{год}$$

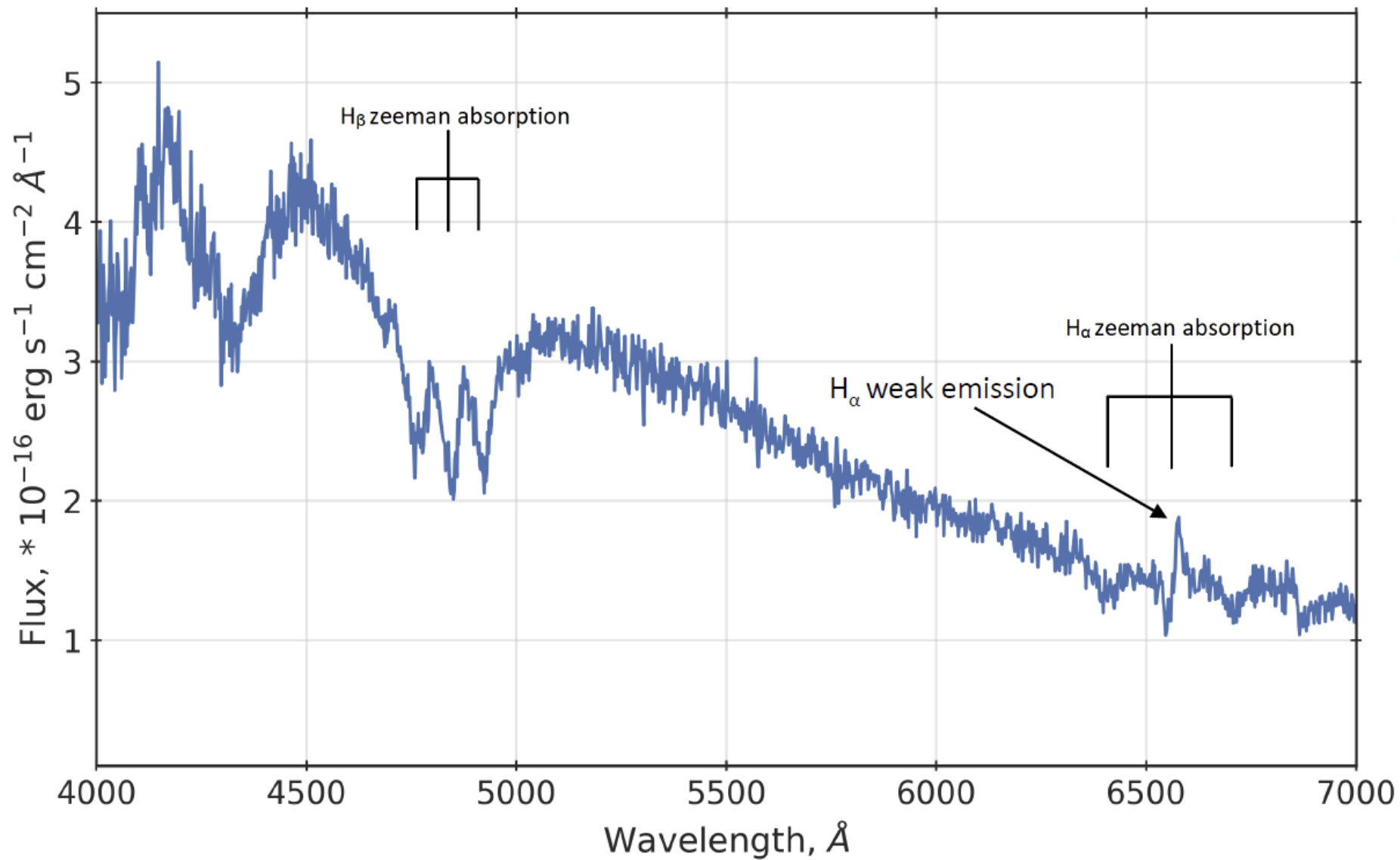
$$\dot{M} = \dot{m}S_{\text{spot}}$$

$$S_{\text{spot}}/S_{\text{wd}} = 0.007$$

Параметры компонент

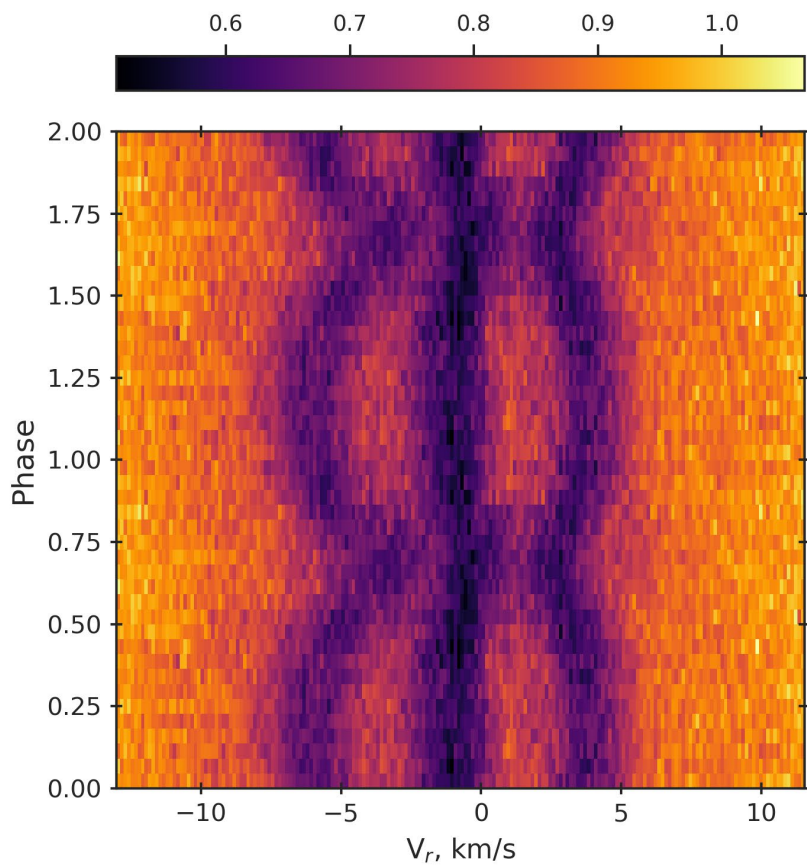
	Белый карлик	Коричневый карлик
T_{eff} , K	11320 ± 70	1400 ± 160
$\log(g)$	8.09 ± 0.13	4.7 ± 0.5
R, R_{\odot}	0.0119 ± 0.0003	0.116 ± 0.024
M, M_{\odot}	0.640 ± 0.037	0.057 ± 0.05

Спектральные особенности

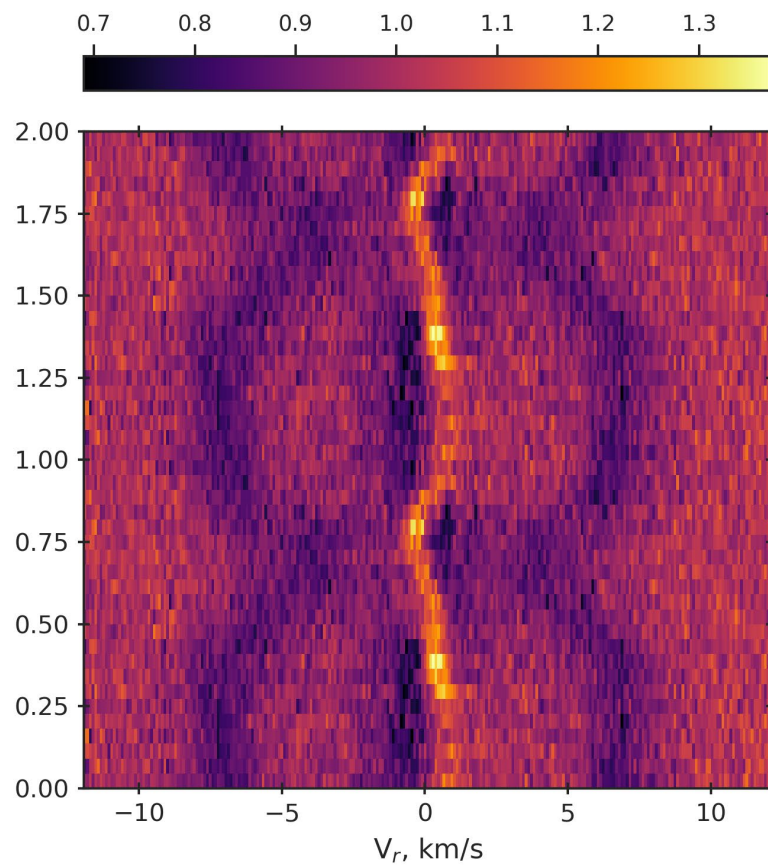


Динамические спектры

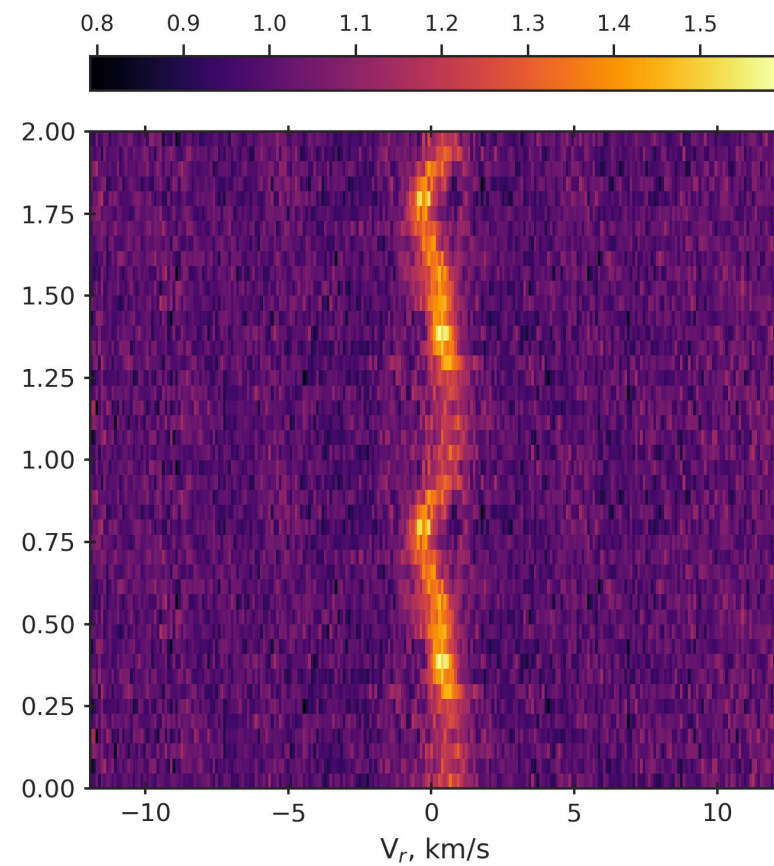
Область линии H_{β}



Область линии H_{α}



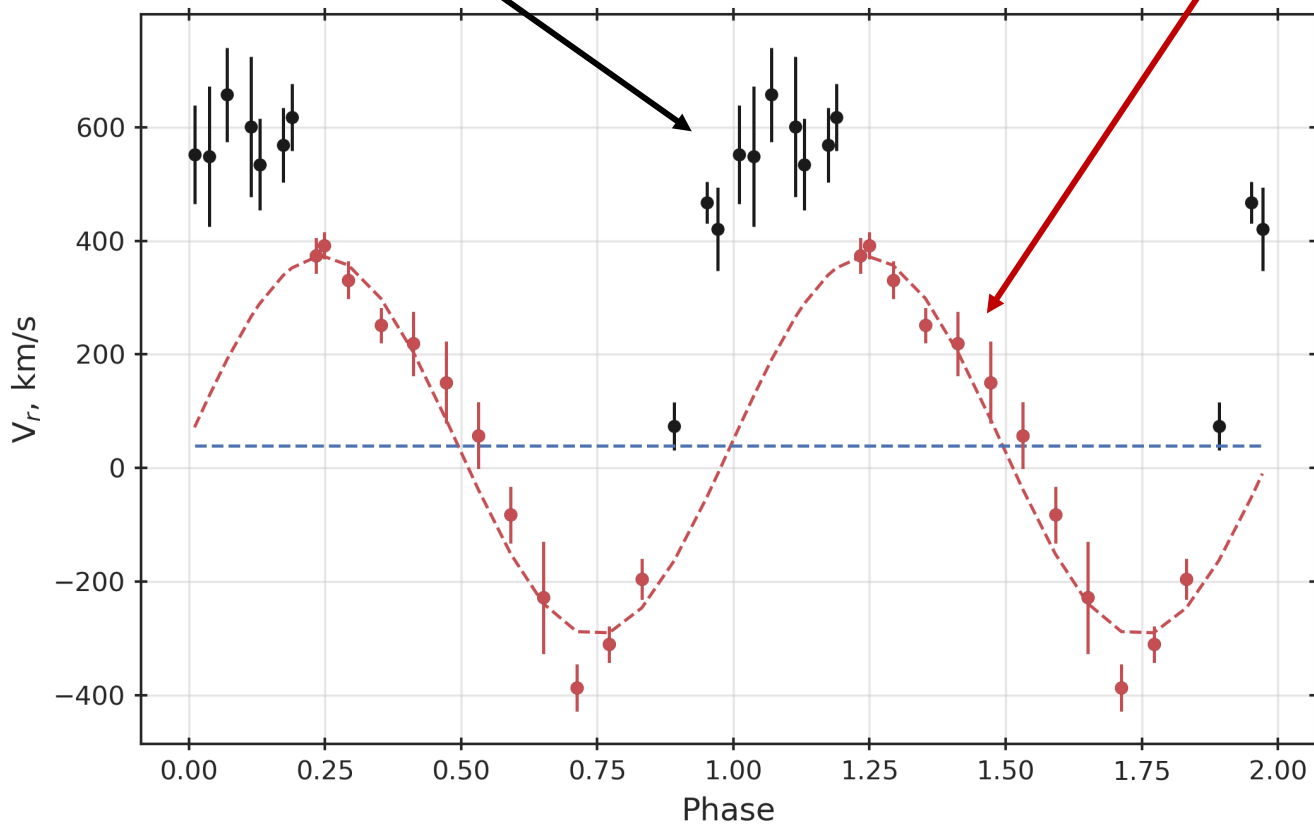
Эмиссия H_{α}



Кривая лучевых скоростей

Струевая компонента

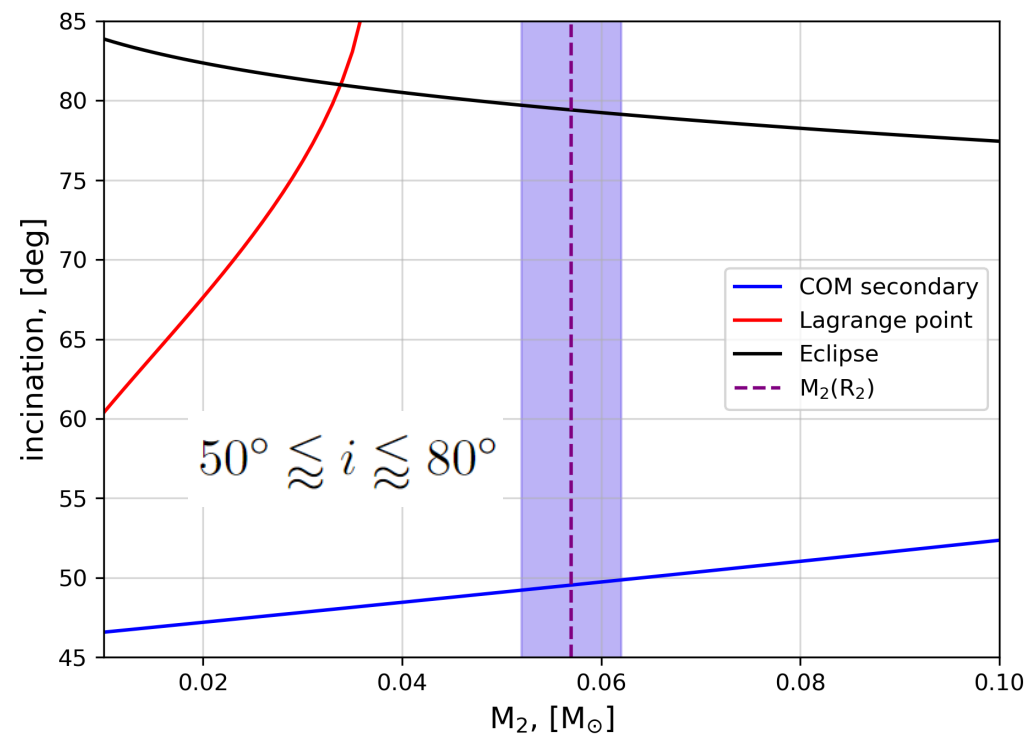
Область переизлучения на КК



Полуамплитуда $K_2 = 334 \pm 12$ км/с

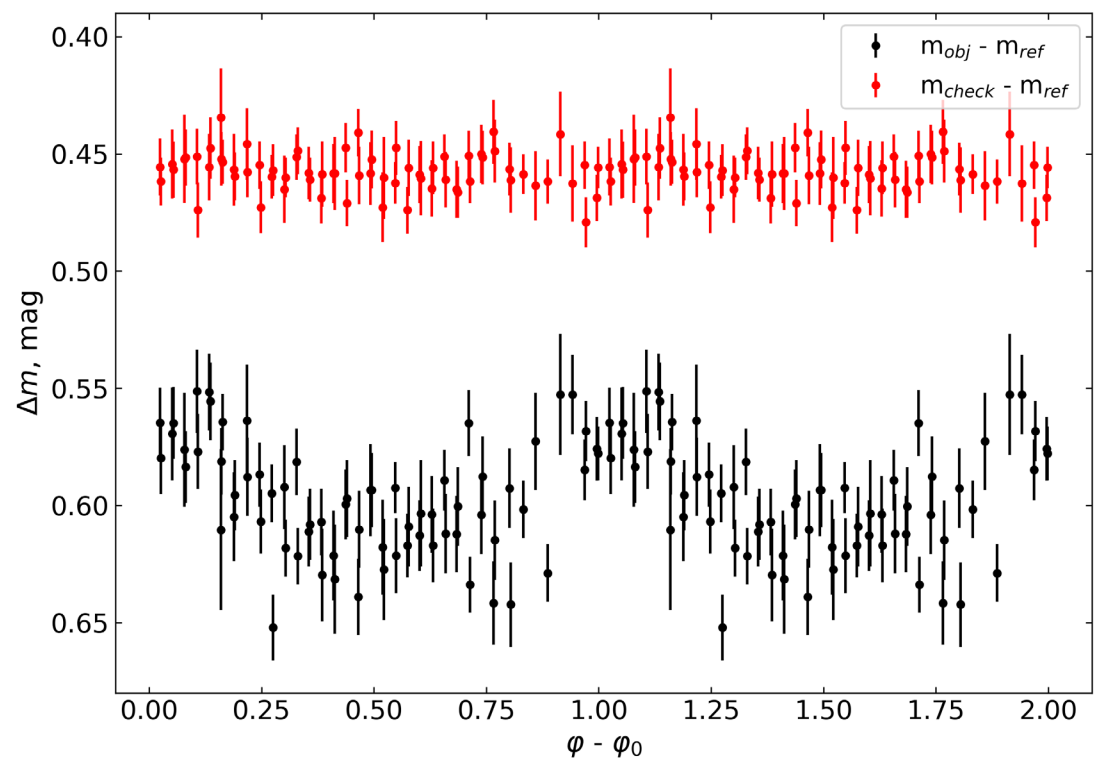
Гамма-скорость $V_\gamma = 38 \pm 11$ км/с

Наклонение орбиты

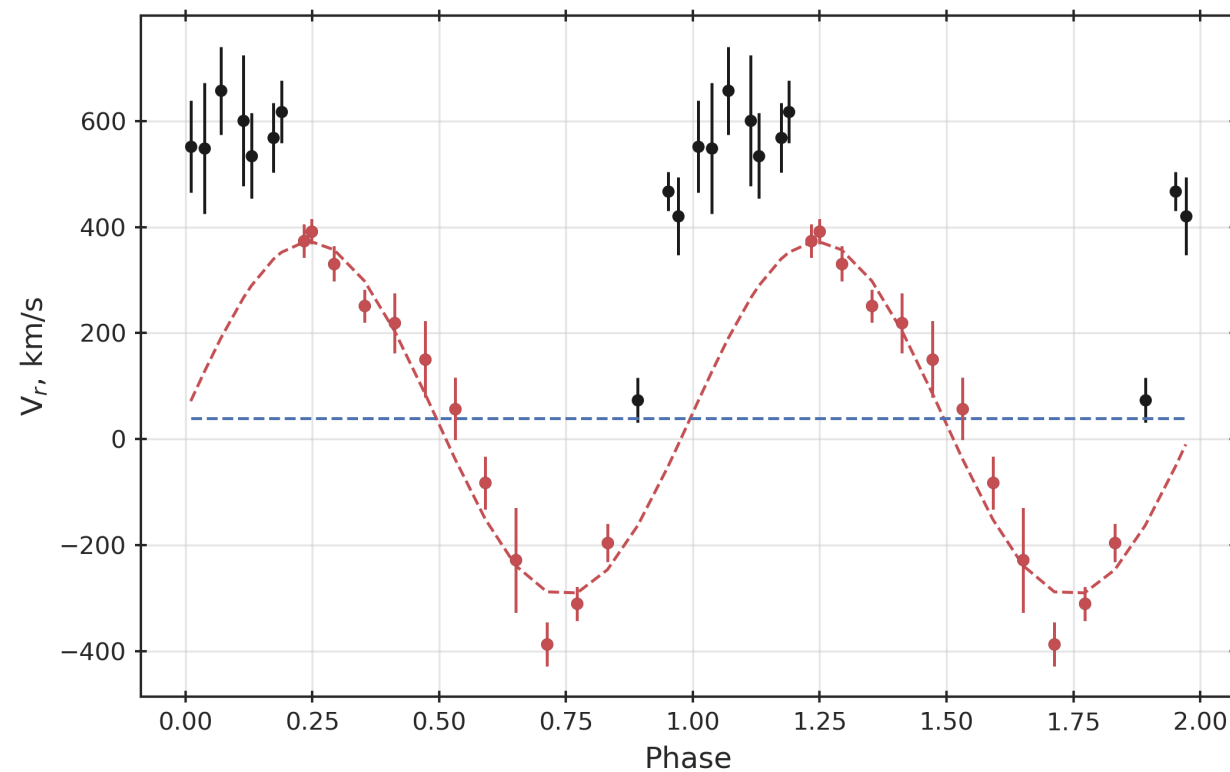


Интерпретация кривой блеска РТТ-150

Кривая блеска в В-фильтре (РТТ-150)



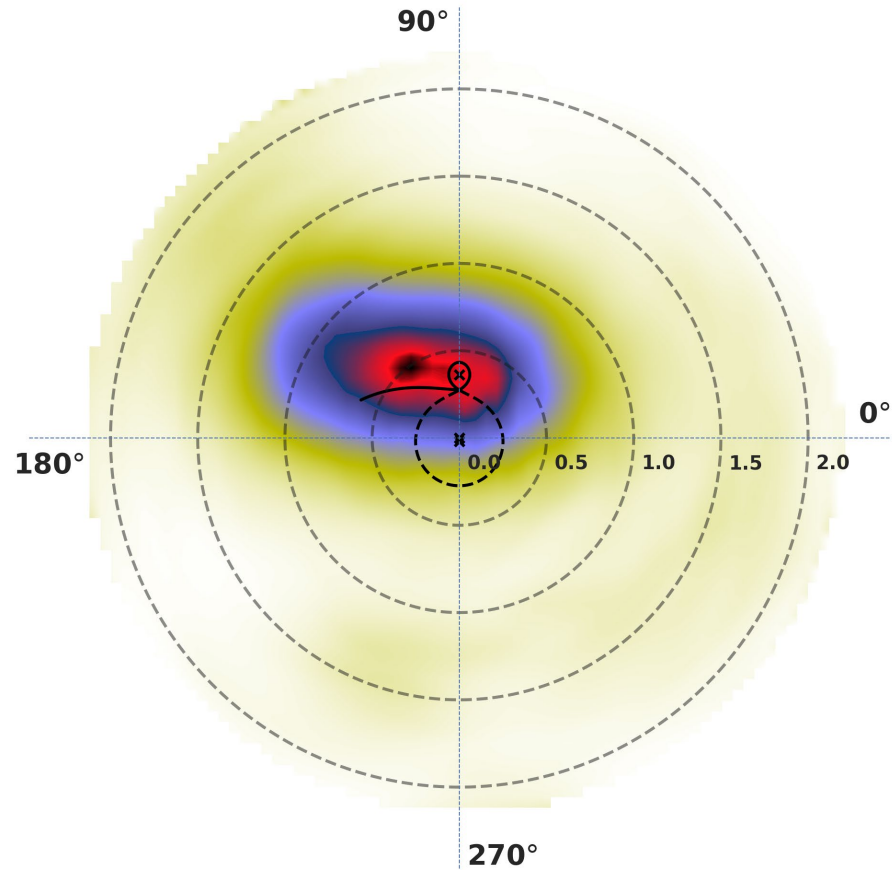
Кривая лучевых скоростей



Аккреционное пятно на поверхности БК обращено в сторону вторичной компоненты

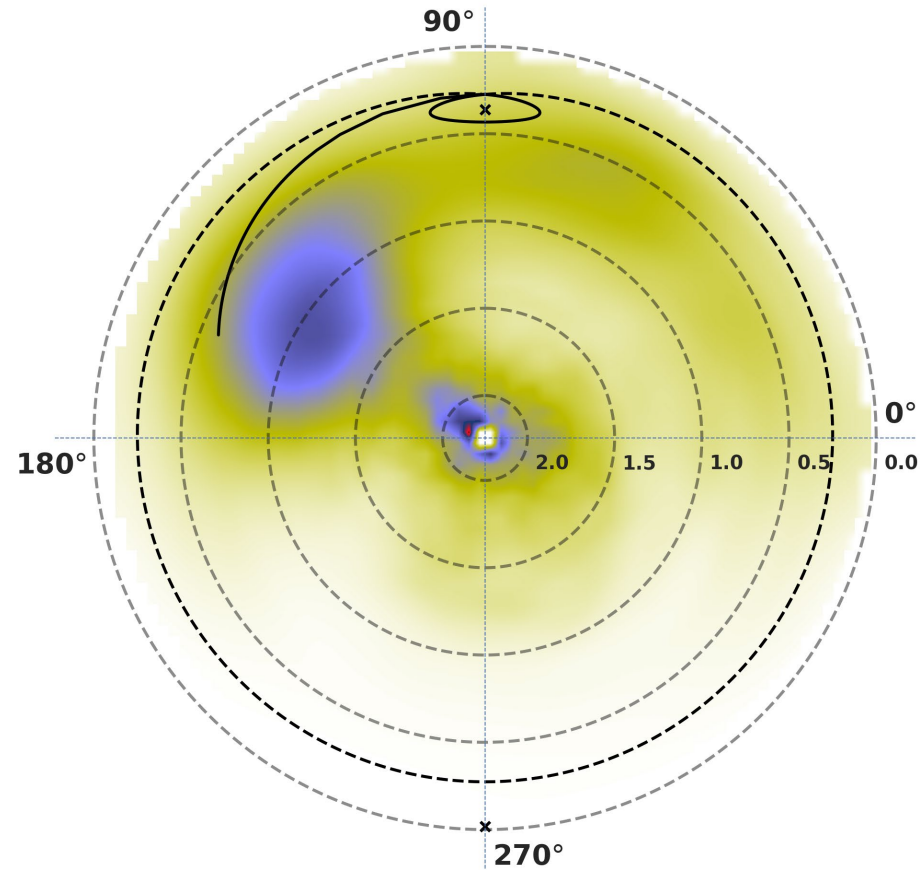
Доплеровская томография слабой эмиссии H_{α}

Стандартная проекция



(v, ϑ) [10^3 km s^{-1} , degrees]

Inside-out проекция



(v, ϑ) [10^3 km s^{-1} , degrees]

Магнитное поле

Атом водорода в магнитном поле

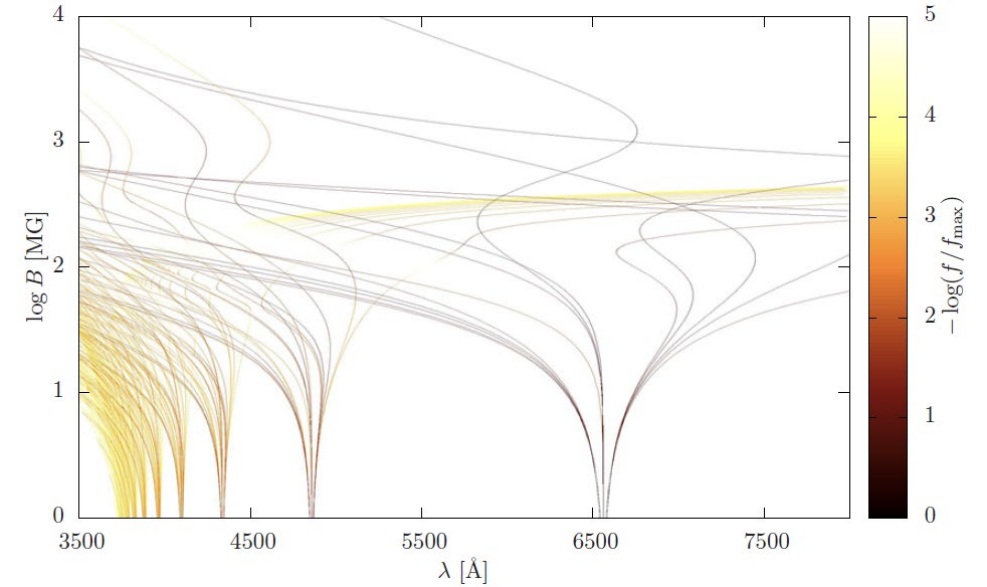
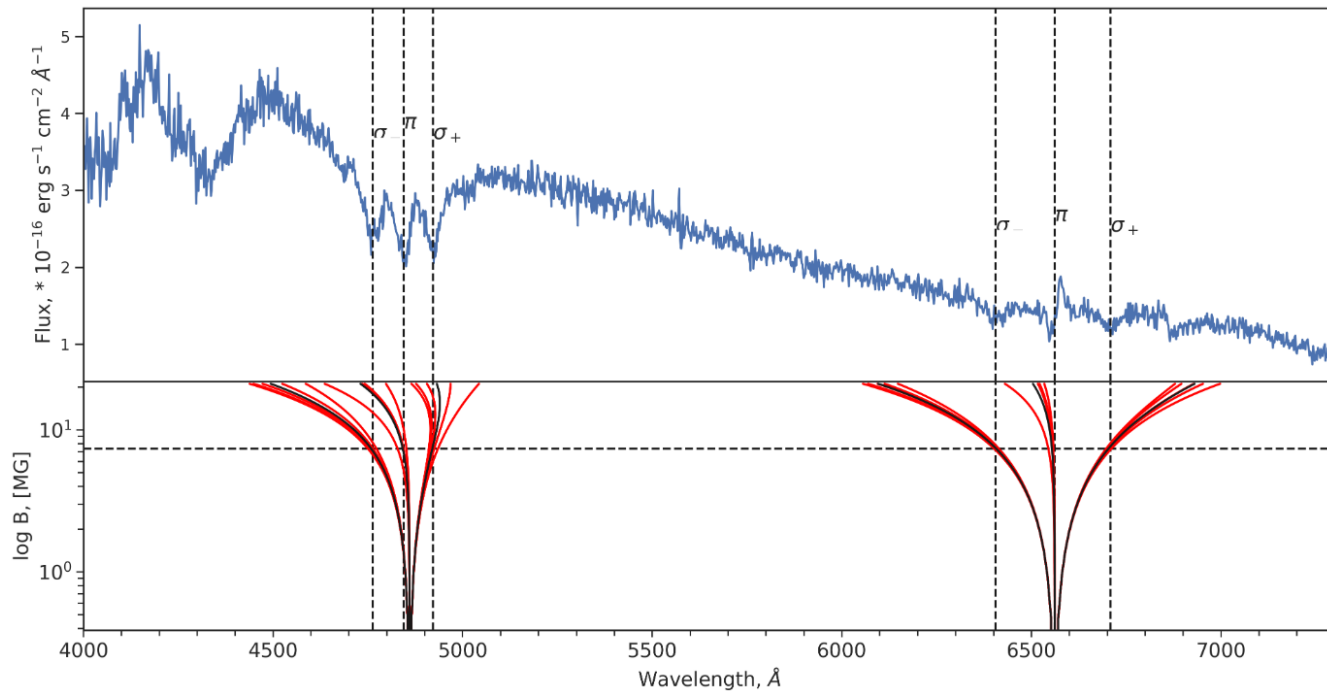
$$\hat{H} = - \left(\frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) - 2i\beta \frac{\partial}{\partial \phi} + \beta^2 \rho^2 + 4\beta m_s - \frac{2}{|\mathbf{r}|},$$

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL SUPPLEMENT SERIES, 212:26 (8pp), 2014 June
© 2014. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in the U.S.A.

doi:10.1088/0067-0049/212/2/26

ATOMIC DATA FOR THE SPECTRAL ANALYSIS OF MAGNETIC DA WHITE DWARFS IN THE SDSS

C. SCHIMECZEK AND G. WUNNER
Institut für Theoretische Physik 1, Universität Stuttgart, Germany
Received 2014 January 27; accepted 2014 April 29; published 2014 June 3



Магнитное поле

Модель БК со смещенным диполем

Магнитное поле площадки

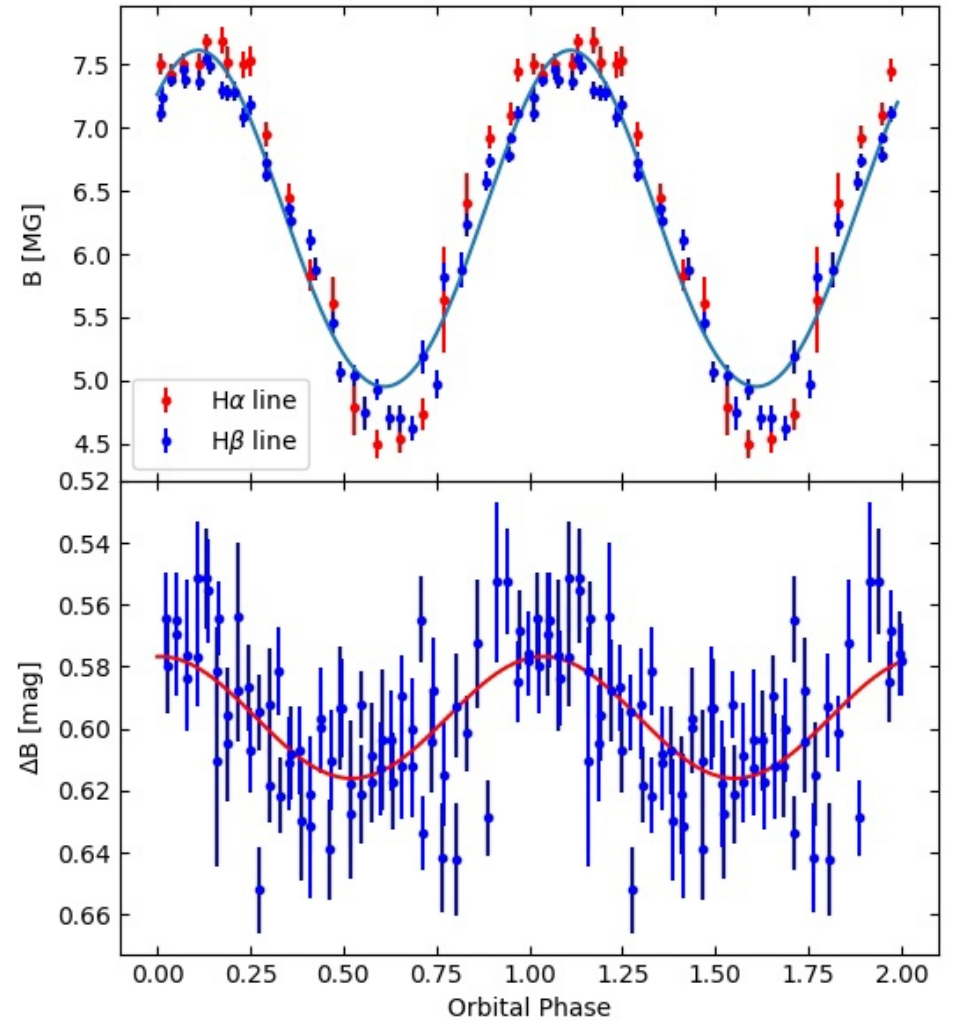
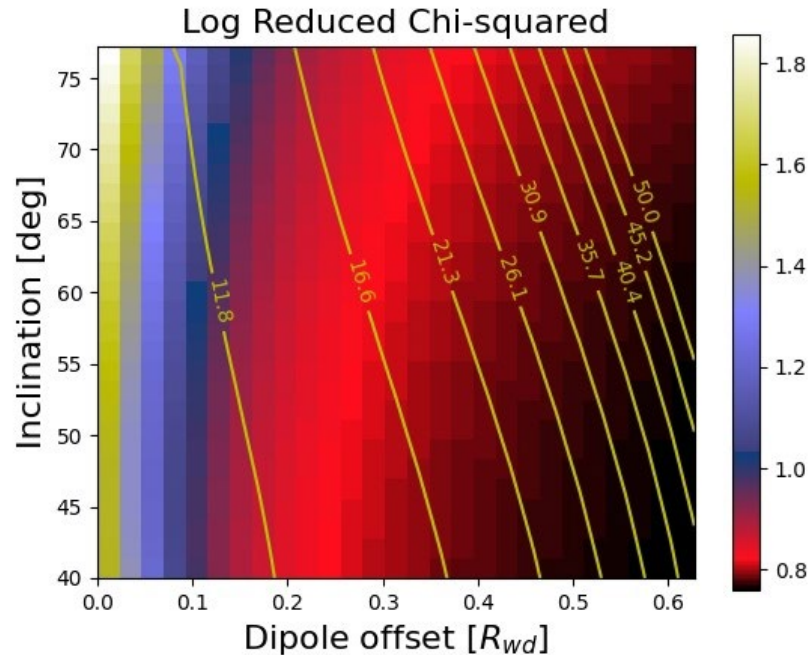
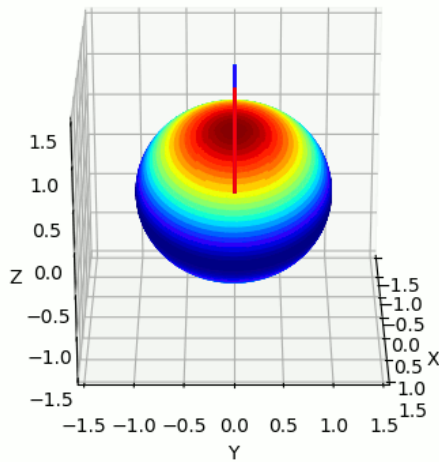
$$B = \frac{B_m}{2} \left(\frac{1-a}{s} \right)^3 (3 \cos^2 \epsilon + 1)^{1/2}$$

Среднее наблюдаемое магн. поле

$$\bar{B} = \frac{\sum S_i B_i L_i \cos \gamma}{\sum S_i L_i \cos \gamma}$$

$$Q = \sum_i^n \frac{1}{\sigma_i^2} (B_i^{obs} - \bar{B}_i)^2$$

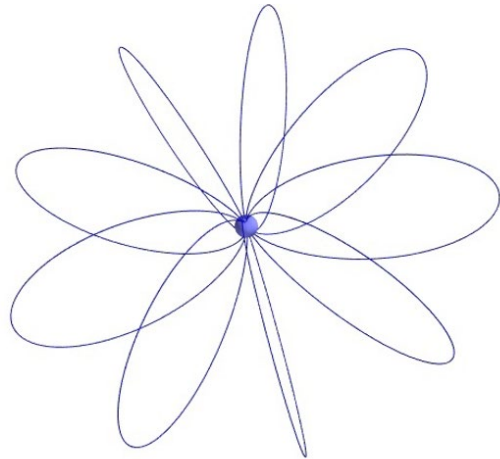
Поиск параметров методом минимизации Нелдера-Мида



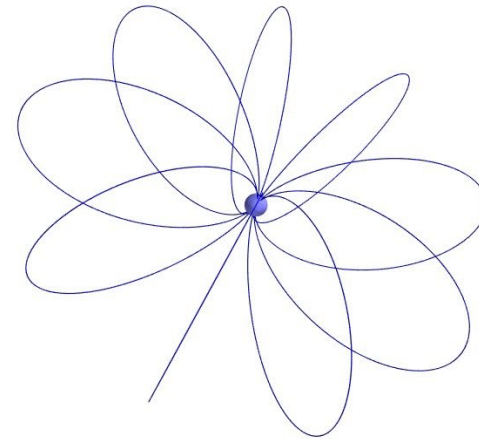
Конфигурация системы

Параметры

$i = 50^\circ$ $M_{wd} = 0.640$
 $\beta = 17 \pm 7^\circ$ $M_{bd} = 0.057$
 $\psi = 320 \pm 2^\circ$
 $V_m = 12$ МГц
 $a = 0.15$



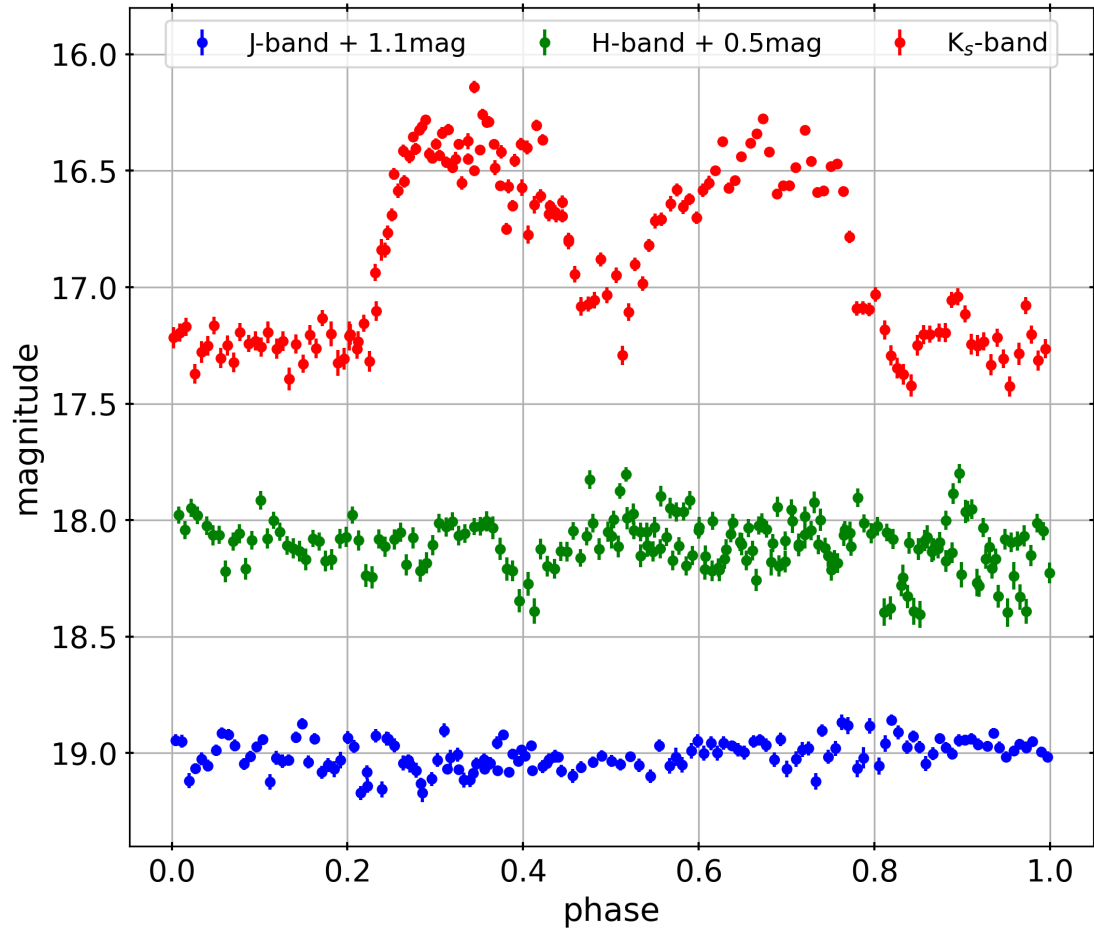
фаза = 0.0



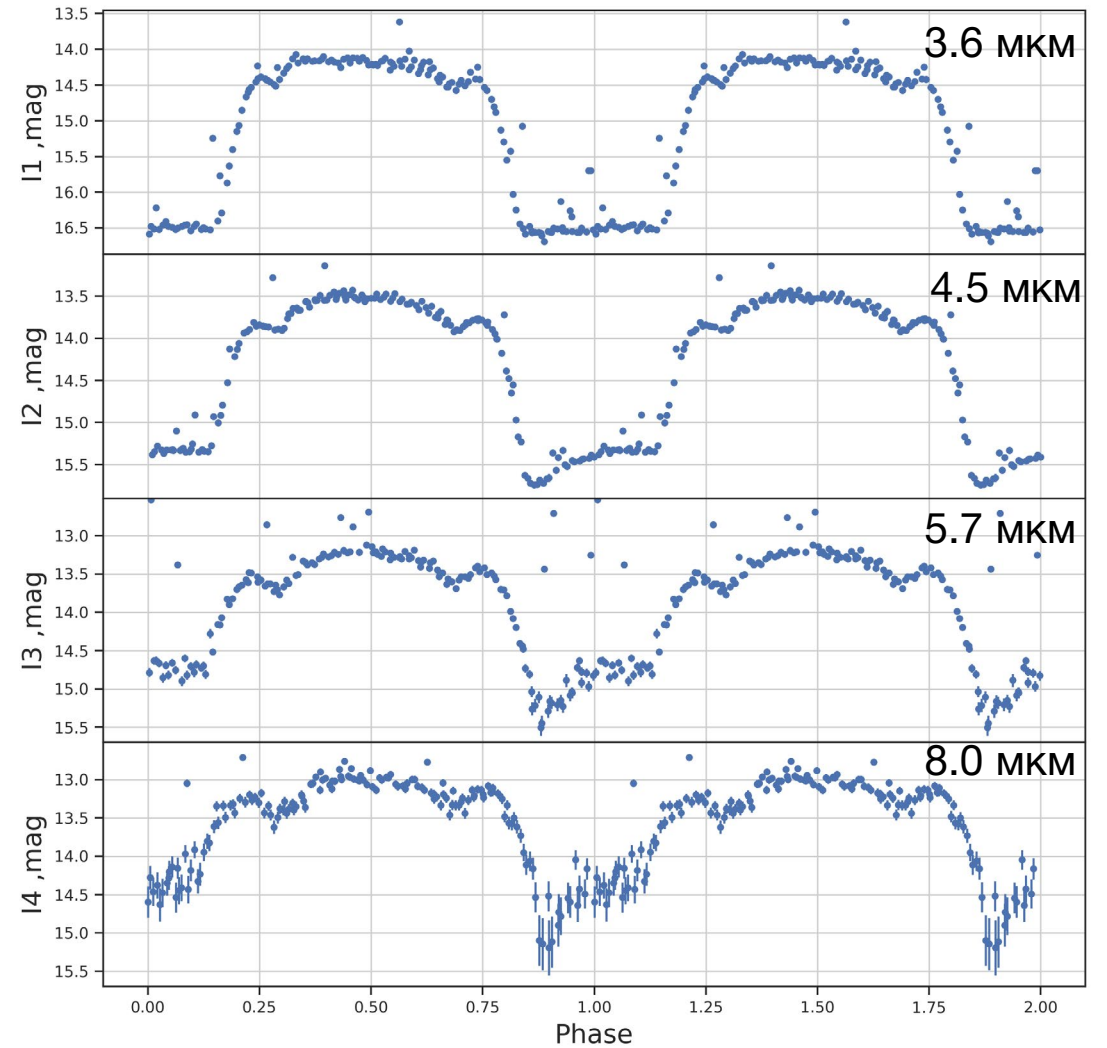
фаза = 0.25

ИК кривые блеска

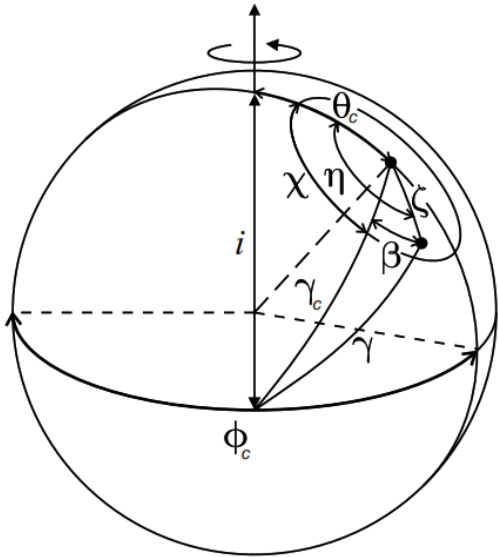
6.5-м телескоп Бааде / прибор PANIC
(Debes и др., 2006)



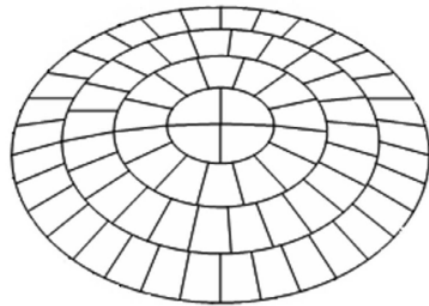
Spitzer IRAC (Harrison и др., 2015)



Моделирование ИК кривых блеска



Модель белого карлика с горячим пятном.



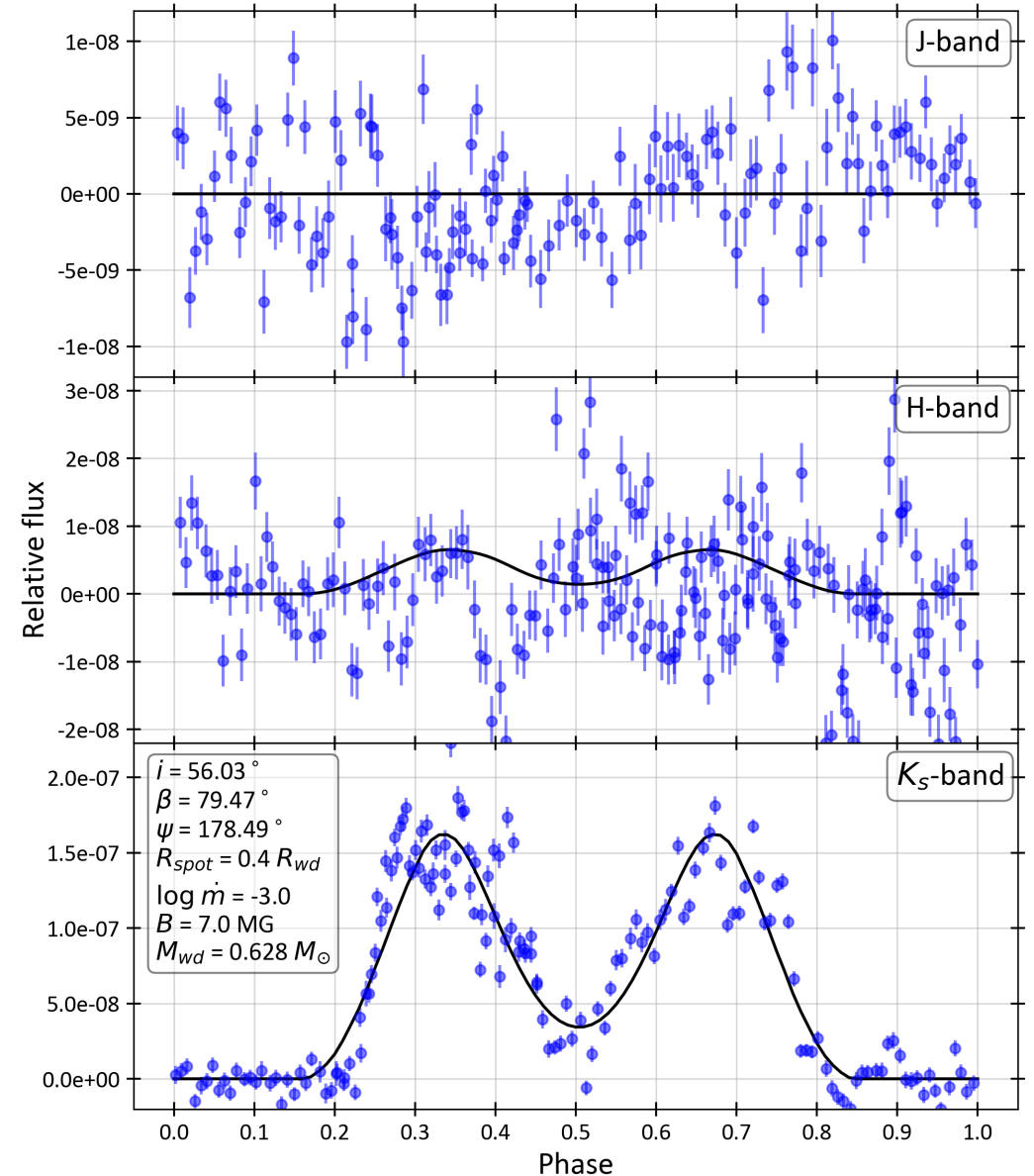
Пример разбиения пятна на сегменты

$$F_{j,k} = \sum_{i,j,k} E_{i,k} S_i \cos \gamma_{i,k} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{i,k}(\lambda) R_j(\lambda) d\lambda$$

S_i — площадь сегмента

$\cos \gamma_{i,k}$ — проекция нормали на луч зрения

$$\chi^2 = \sum_{i,j} \frac{(cF_{i,j} - F_{i,j}^{obs})^2}{\sigma_{i,j}^2} \rightarrow \min$$



Сравнение теоретических и наблюдаемых кривых блеска V379 Vir в рамках модели структурированного горячего пятна.

Полученные результаты

- Определены параметры компонент системы V379 Vir на основе моделирования спектрального распределения энергии.
- Получены оценки темпа аккреции и размера излучающей области на основе описания спектрального распределения энергии в рамках модели вертикально-структурированного циклотронного источника.
- По слабой эмиссии H_α получена кривая лучевых скоростей вторичной компоненты.
- Наложены ограничения на область допустимых значений наклона орбиты .
- На основе анализа зеемановского расщепления бальмеровских линий получена кривая изменения среднего магнитного поля.
- Восстановлена конфигурация магнитного поля белого карлика в рамках дипольного приближения.