

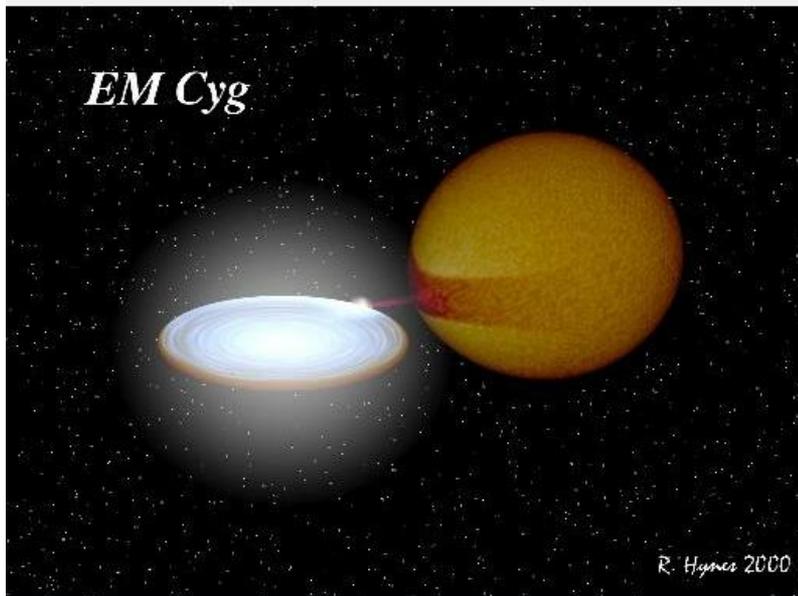


КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

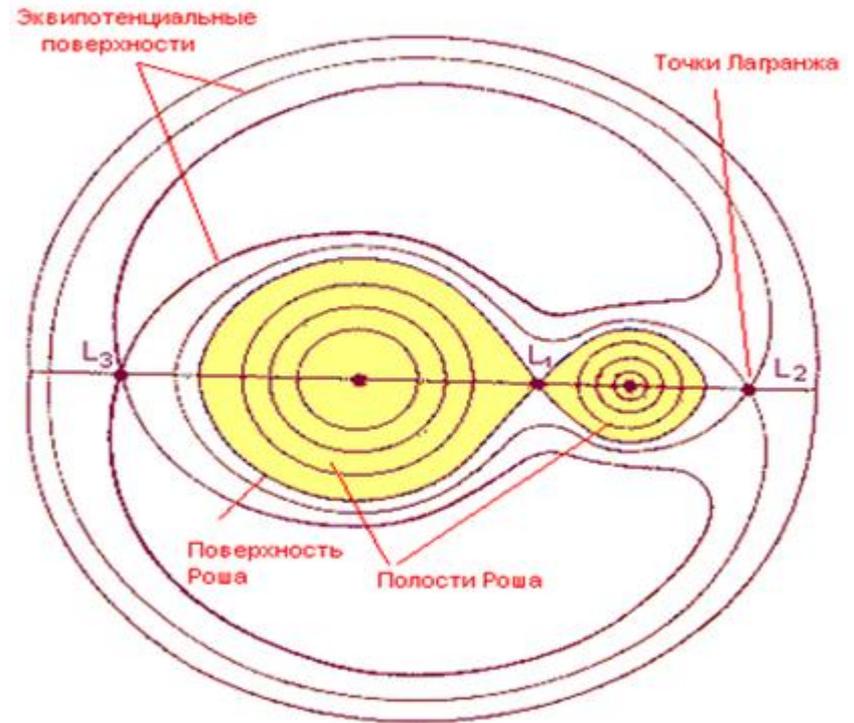
# Анализ методики определения параметров карликовых Новых

Дудник А.А., Шиманский В.В. Борисов Н.В.,  
Митрофанова А.А., Колбин А.И.

# Катаклизмические переменные звезды



Катаклизмические переменные с дисковой аккрецией.



Расположение точек перетекания масс – точек Лагранжа.

## Цель:

- Совершенствование методики определения параметров, её автоматизация и определение возможных источников погрешности.
- А так же применение данной методики на системы ТУ Psc, FL Psc, V455 And.

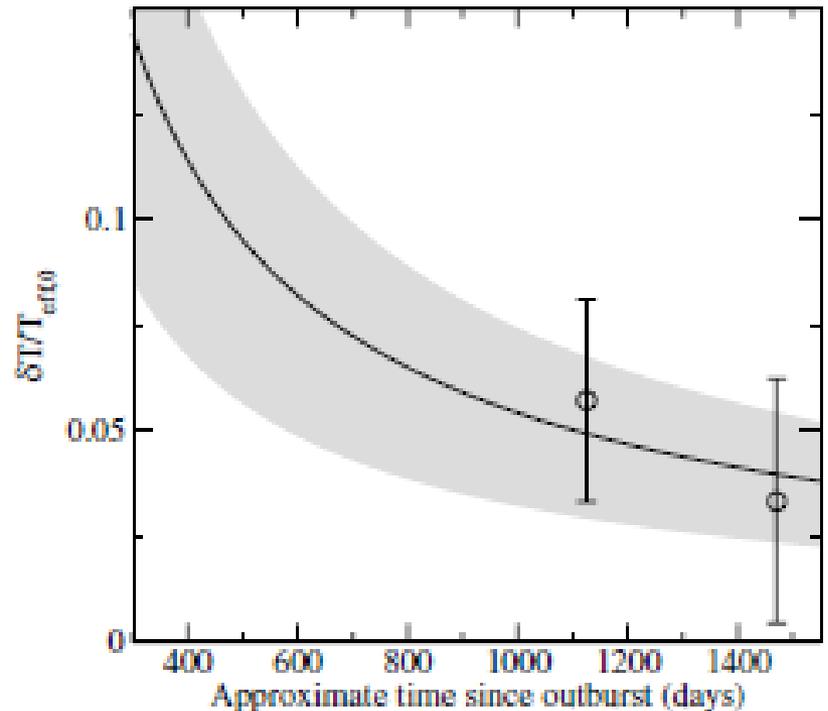
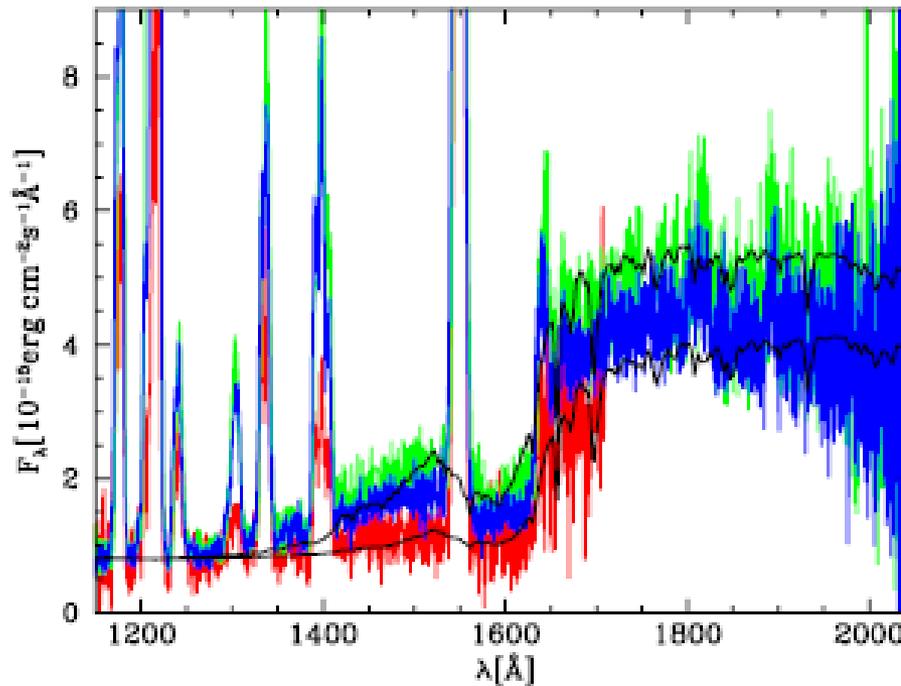
# SU UMa

- Являются подклассом карликовых новых
- Вспышки с  $\Delta m_v = 2-6^m$ . и длительностью  $1-3^d$ .
- Сверхвспышки с  $\Delta m_v = 2-7^m$ . и длительностью  $10-18^d$ .
- $M_2 = 0.10 \pm 0.04 M_\odot$  – средняя масса вторичной компоненты.
- $M_1 = 0.76 \pm 0.19 M_\odot$  – средняя масса первичной компоненты.
- Н. Ritter VizieR On-line Data Catalog (2011).

# WZ Sge

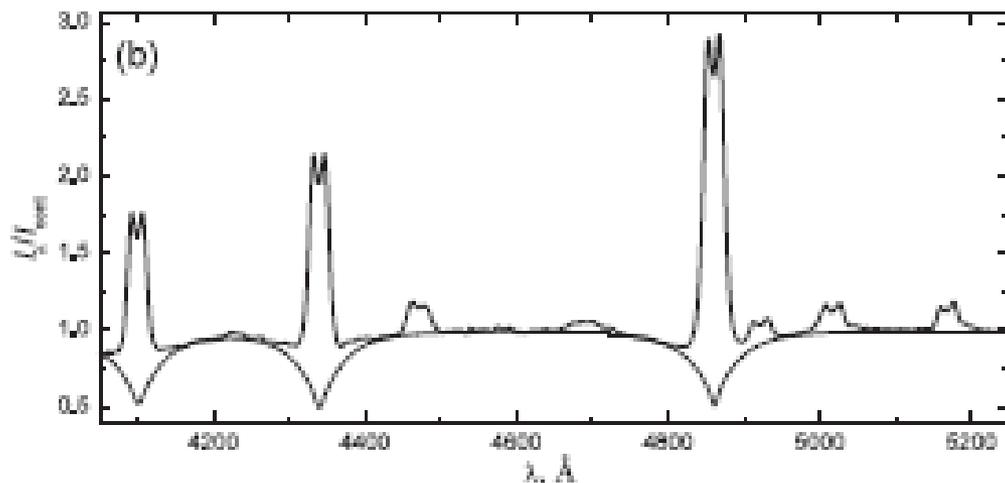
- Подгруппа типа SU UMa.
- Сверхвспышки с  $\Delta m_v = 6^m-9^m$  в течение  $14-22^h$ .
- Возвращение в начальное состояние происходит за время  $60-200$  суток.
- Перед и в момент максимума вспышки на кривой блеска появляются колебания с амплитудой  $\Delta m_v = 0.2-0.4^m$ , – сверхгорбы.
- $M_2 = 0.084 \pm 0.008 M_\odot$  – средняя масса вторичной компоненты.
- N. Katysheva, S. Shugarov, N. Borisov (2015).

# Исследование спектров КП в ультрафиолетовом диапазоне

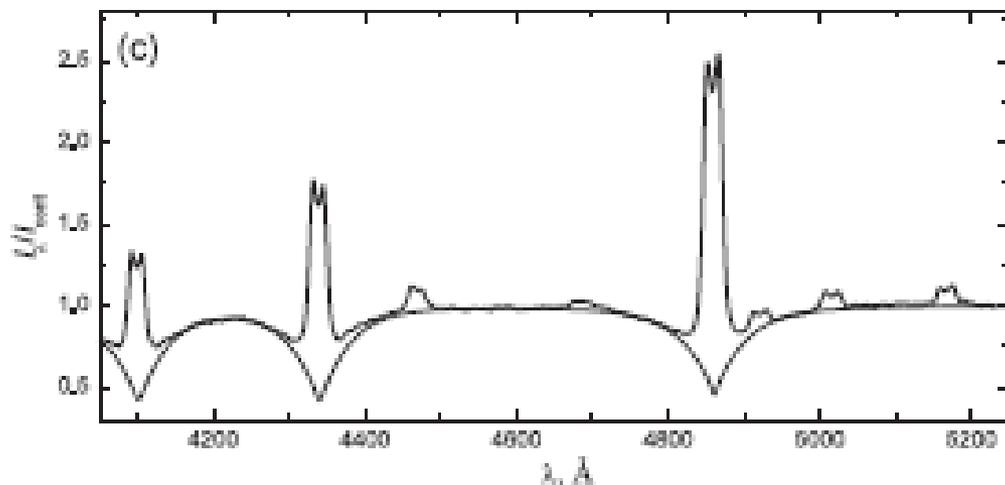


Paula Szkody, Anjum S. Mukadam, Boris T. Gänsicke<sup>2</sup>, Arne Henden<sup>3</sup>, (2013).

# Исследование оптических спектров карликовой Новой в низком состоянии



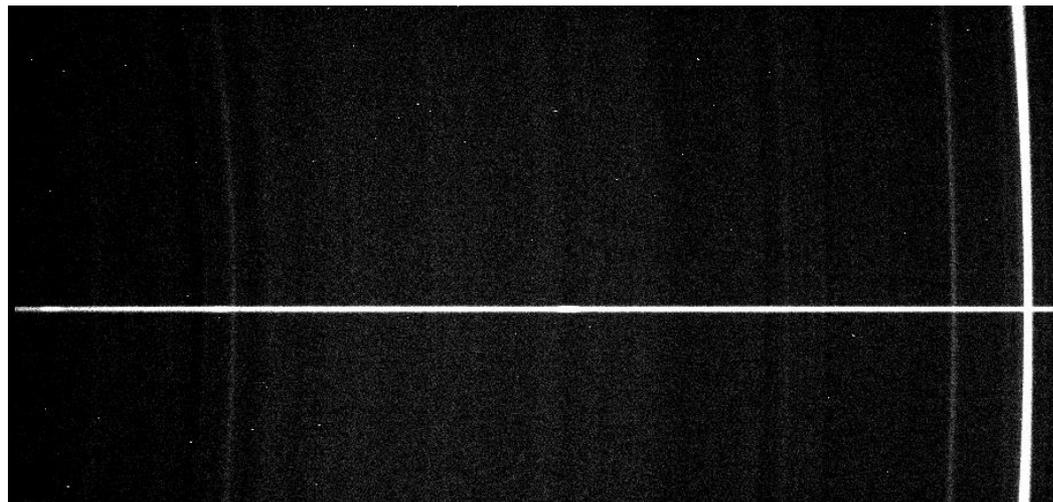
Сравнение наблюдаемых и  
теоретических спектров  
GSC02197–00886.



А.А.Митрофанова, Н.В.Борисов,  
В.В.Шиманский ,(2014).

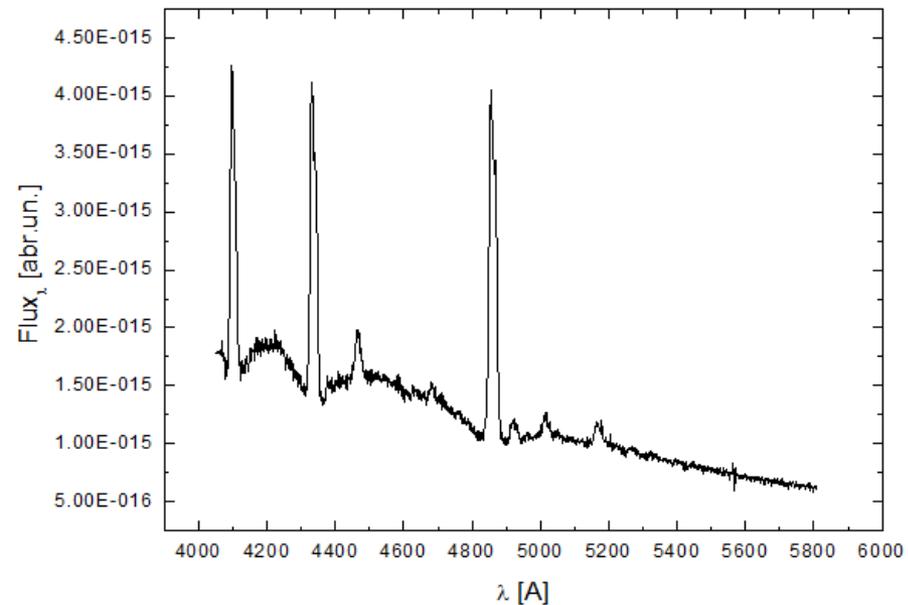
# Наблюдения

Спектральные наблюдения выполнены 11/12 сентября 2013 года на БТА САО РАН с применением редуктора светосилы первичного фокуса SCORPIO-1, гризмы VPHG1200G (1200 штрихов/мм) и ПЗС-приемника EEV CCD42-40 (2048\*2048 пикселей размером 13.5\*13.5 мкм) с одинаковой экспозицией 300 секунд. В диапазоне: 4000-5300 Å, с разрешением: 5 Å. Было получено по 3 спектра для 3 систем: TY Psc, FL Psc и V455 And.

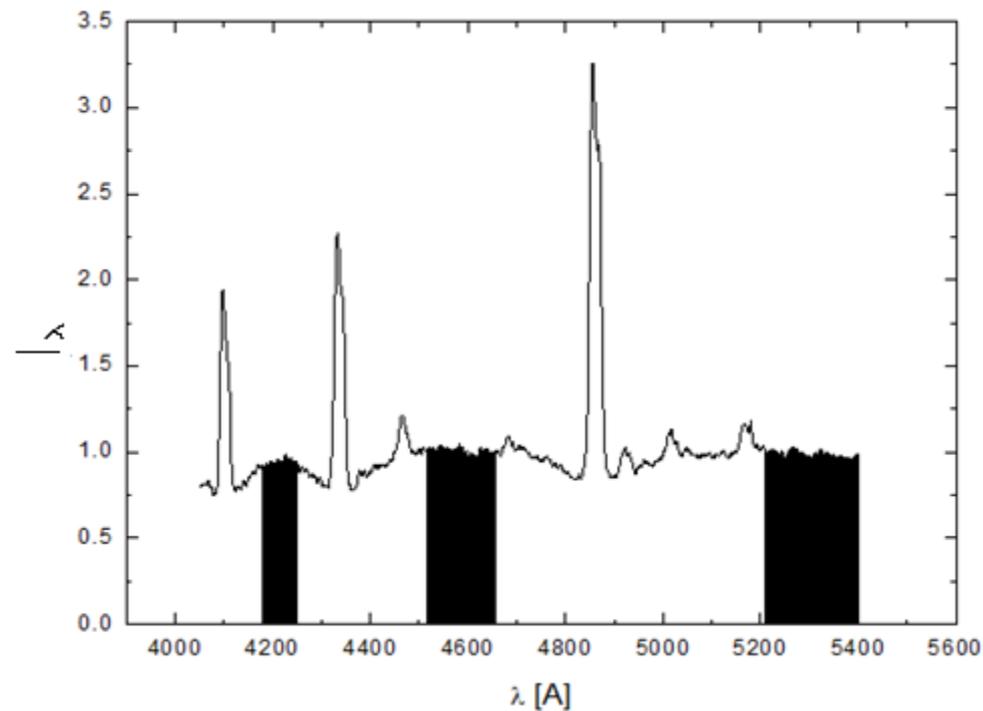


ПЗС-изображение объекта FL Psc

# Первичная обработка наблюдаемых спектров



Обработанный спектр системы FL Psc



Нормированный спектр системы FL Psc

# Моделирование

- В программном комплексе ATLAS12 рассчитаны сетки моделей атмосфер белых карликов с параметрами:

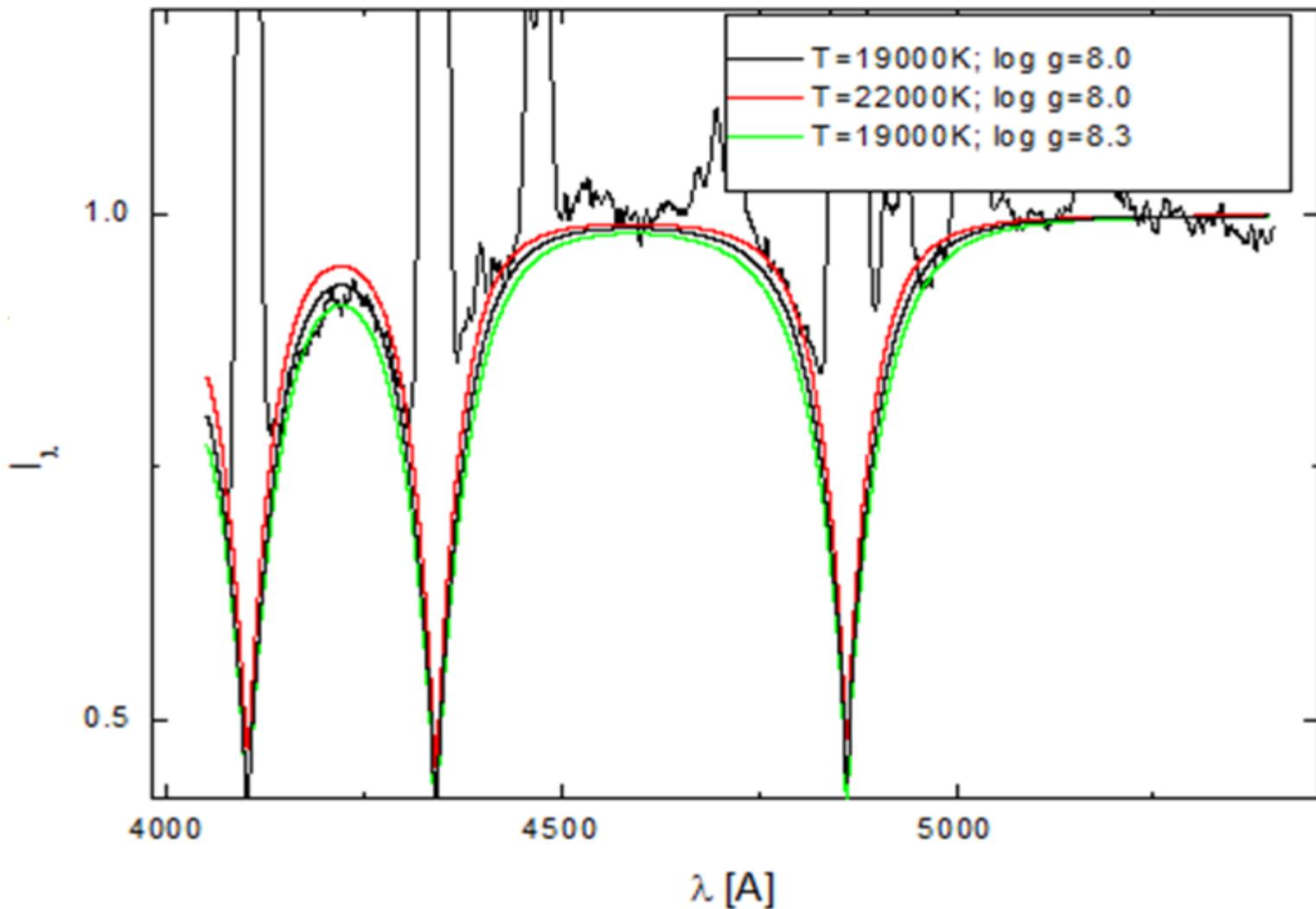
$$T_{\text{eff}} = 10\,000\text{--}90\,000\text{K с шагом } \Delta T_{\text{eff}} = 2000\text{ K},$$
$$\log g = 6.5\text{--}9.5 \text{ с шагом } \Delta \log g = 0.25,$$
$$\text{при } [\text{He}/\text{H}] = -3 \text{ dex и } [\text{M}/\text{H}] = -5 \text{ dex [1].}$$

- Учитывались все источники непрерывного поглощения линии H $\gamma$ , He I, He II с уширением согласно теориям Вайдл–Куппер–Смитта и Грима.
- Бралась шкала солнечных содержаний химических элементов из работы Андерса и Гревесса.
- Теоретические спектры рассчитывались с использованием программы STAR [2].

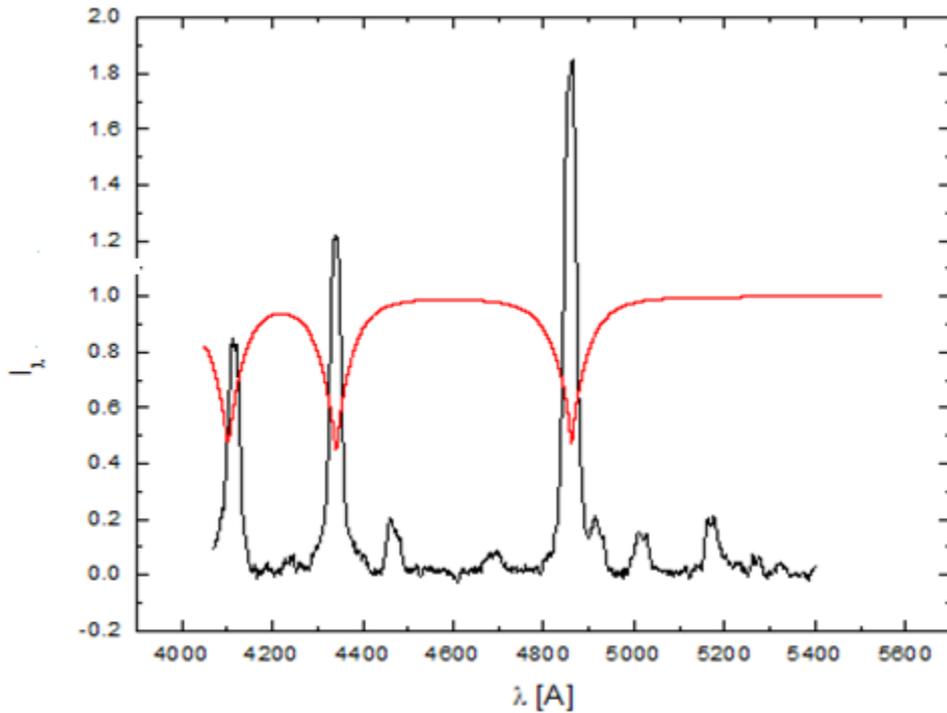
1) Piskunov N.E. SYNTH - a code for rapid spectral synthesis (1992).

2) Shimanskaya N.N. Astrophysical Bulletin. (2014).

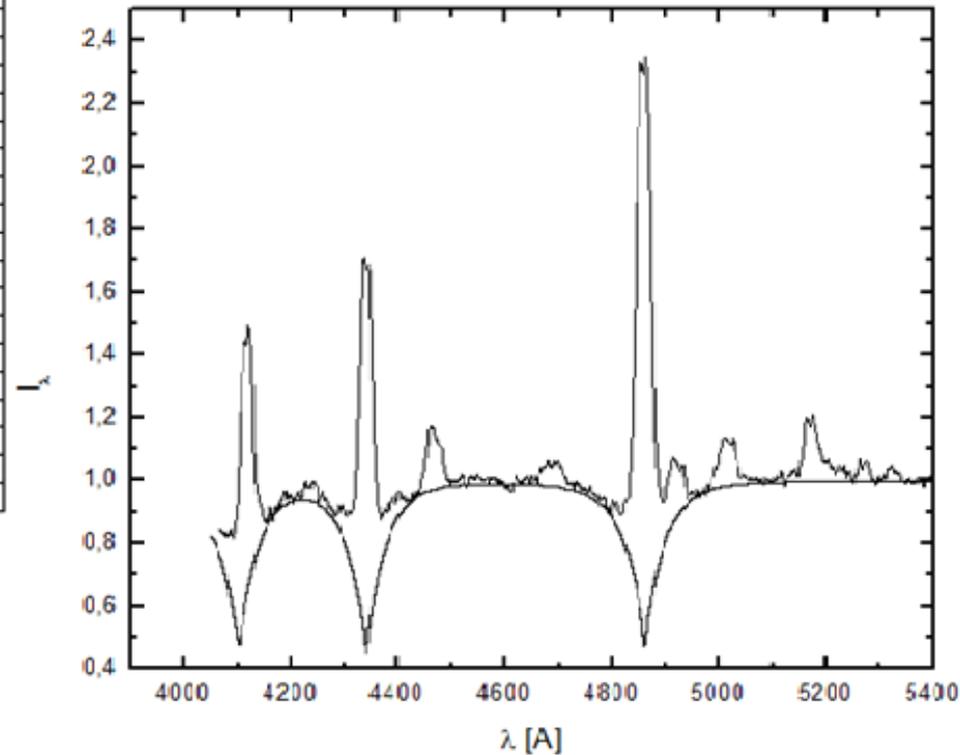
# Теоретические спектры, полученные путём варьирования параметров $T_{\text{eff}}$ и $\log g$



# Теоретические и наблюдаемые спектры



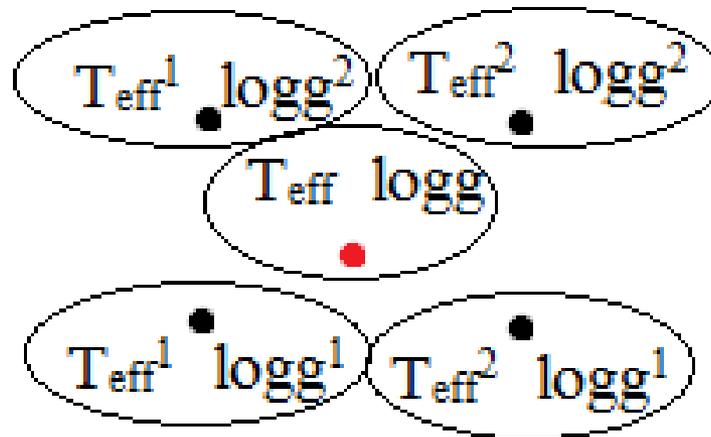
Спектр остаточной  
интенсивности системы TY Psc

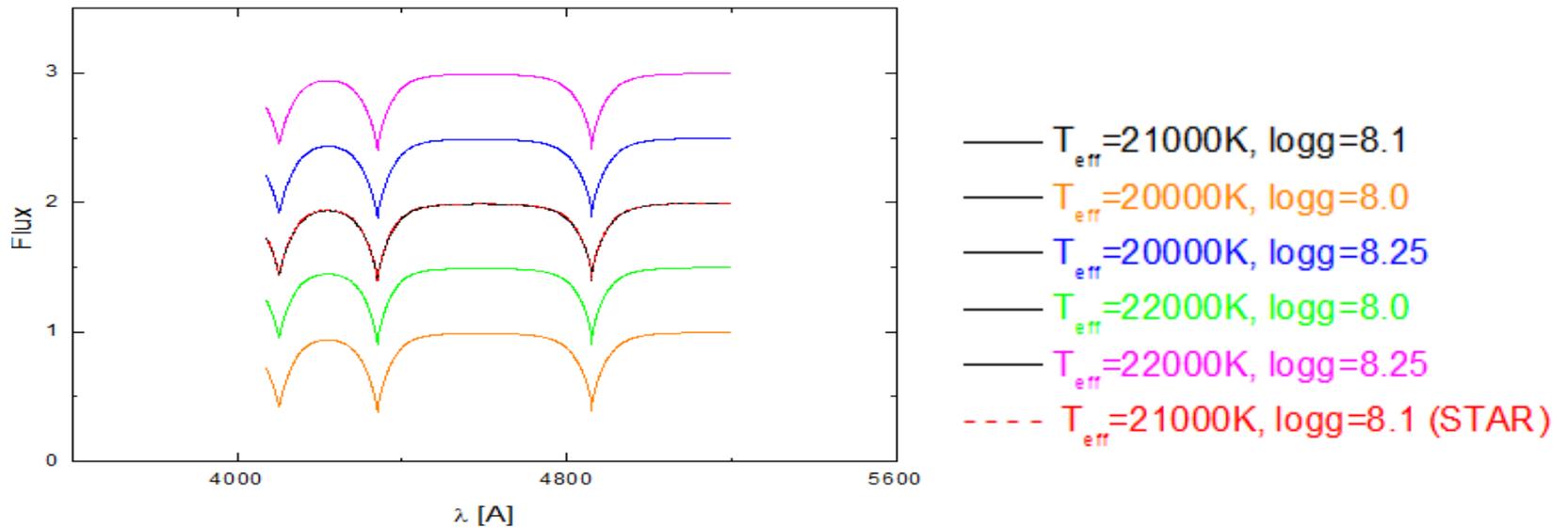


Теоретический и  
наблюдаемый спектр TY Psc

# При реализации методики автоматического определения параметров были решены следующие задачи

1. Расчет набора синтетических спектров для сетки моделей БК в диапазоне  $T_{\text{eff}}$  10 000–90 000К с шагом 2000К и  $\log g$  6.5–9.5 с шагом 0.25. В диапазоне 3900 - 5400А.
2. Реализация методики интерполяции спектров на произвольные значения  $T_{\text{eff}}$  и  $\log g$ .

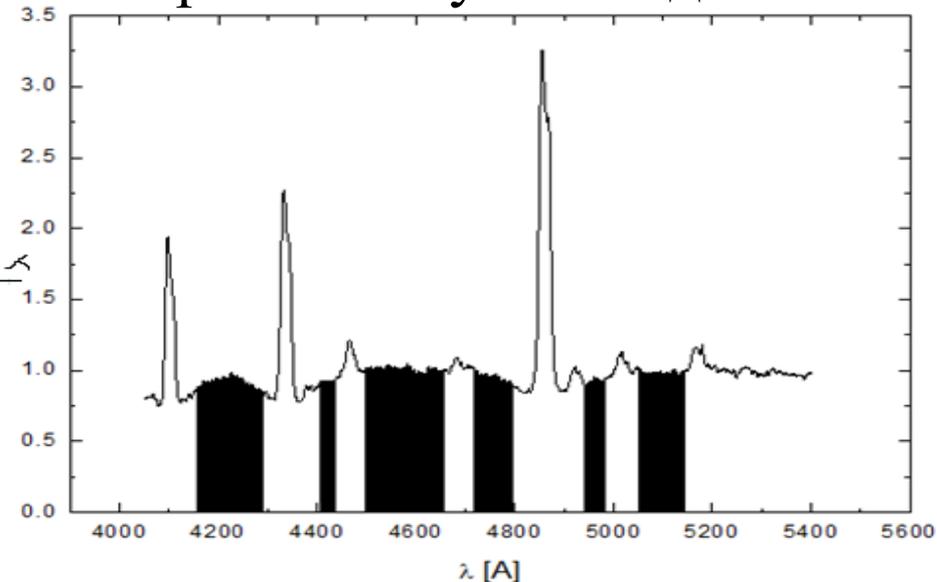




Интерполяция спектра с параметрами  $T_{\text{eff}} = 21000\text{K}$  и  $\log g = 8.1$  из 4-х спектров.

3. Интерполяция теоретического спектра на сетку наблюдаемых длин волн.

4. Определение интервала для анализа наблюдаемых спектров в НИЗКОМ СОСТОЯНИИ



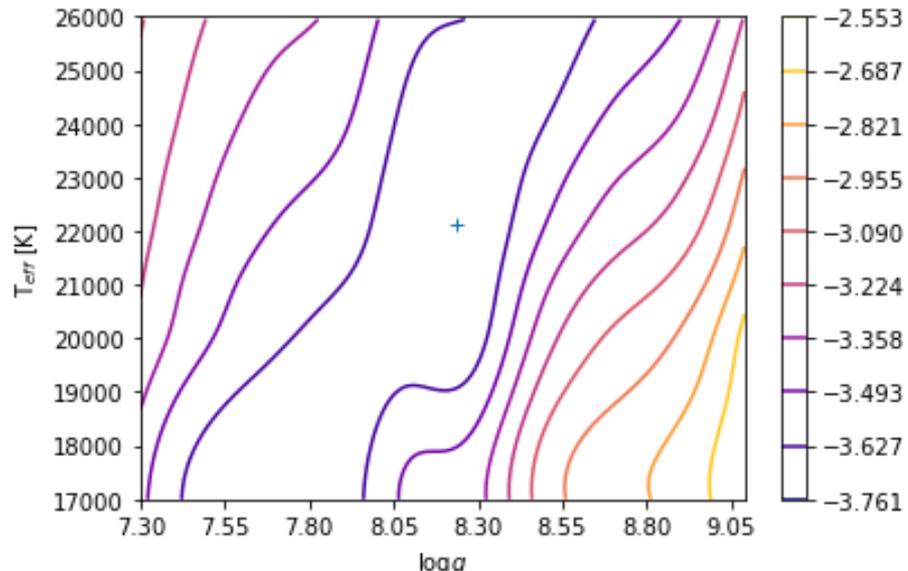
Диапазоны согласования теоретического и наблюдаемого спектра.

5. Рассчитывалось среднеквадратичное отклонение теоретического спектра от наблюдаемого

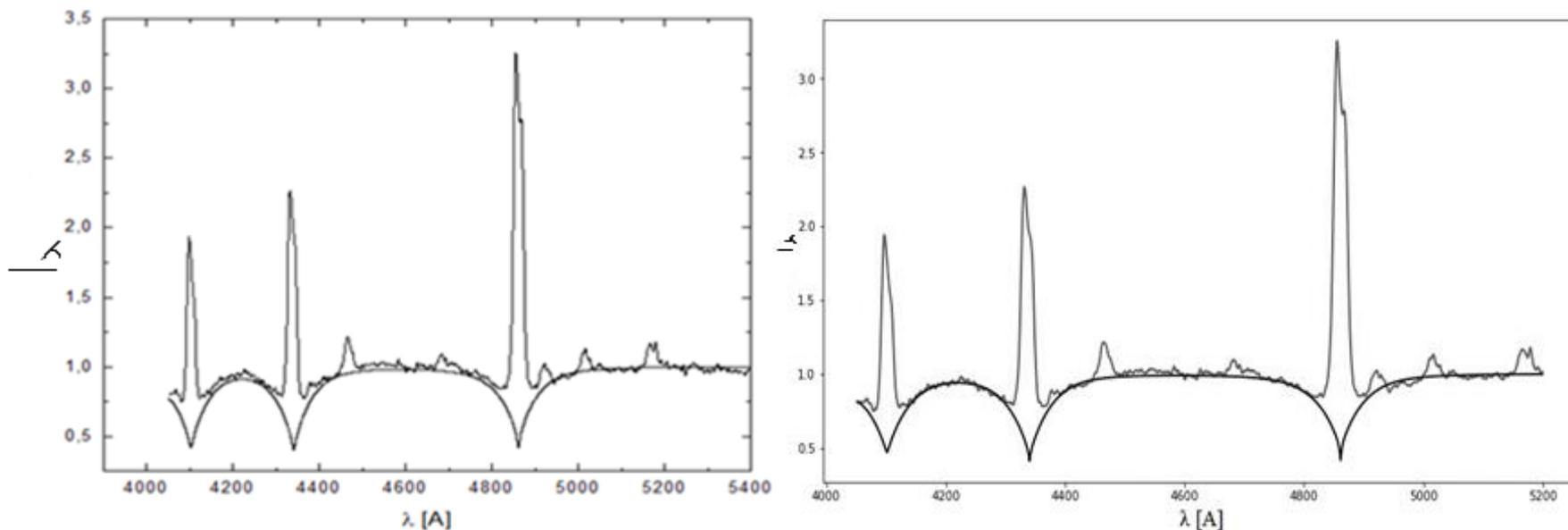
$$S = \sqrt{\sum_d \sum_{\lambda_i}^{\lambda_a} (F_{\lambda_{teor}} - F_{obs}(\lambda))^2 / N}$$

6. Получили сетку среднеквадратичных отклонений для разных  $T_{eff}$  и  $\log g$  и карту распределений среднеквадратичных отклонений.

	7.3	7.5	7.7	7.9	8.1	8.3	8.5	8.7	8.9	9.1
17000	0.03164	0.02521	0.02424	0.02467	0.03122	0.03354	0.04853	0.05663	0.06277	0.07874
18000	0.03310	0.02595	0.02428	0.02421	0.02980	0.03195	0.04700	0.05532	0.06163	0.07815
19000	0.03580	0.02810	0.02531	0.02428	0.02691	0.02829	0.04224	0.05088	0.05728	0.07521
20000	0.03867	0.03080	0.02719	0.02544	0.02496	0.02553	0.03769	0.04653	0.05299	0.07229
21000	0.04007	0.03236	0.02857	0.02657	0.02434	0.02445	0.03404	0.04194	0.04782	0.06570
22000	0.04150	0.03403	0.03015	0.02798	0.02430	0.02397	0.03076	0.03760	0.04284	0.05921
23000	0.04270	0.03547	0.03158	0.02933	0.02472	0.02408	0.02848	0.03436	0.03903	0.05415
24000	0.04391	0.03696	0.03310	0.03083	0.02553	0.02462	0.02663	0.03145	0.03548	0.04923
25000	0.04492	0.03832	0.03451	0.03221	0.02656	0.02541	0.02542	0.02920	0.03272	0.04496
26000	0.04595	0.03971	0.03598	0.03366	0.02783	0.02647	0.02473	0.02737	0.03028	0.04090



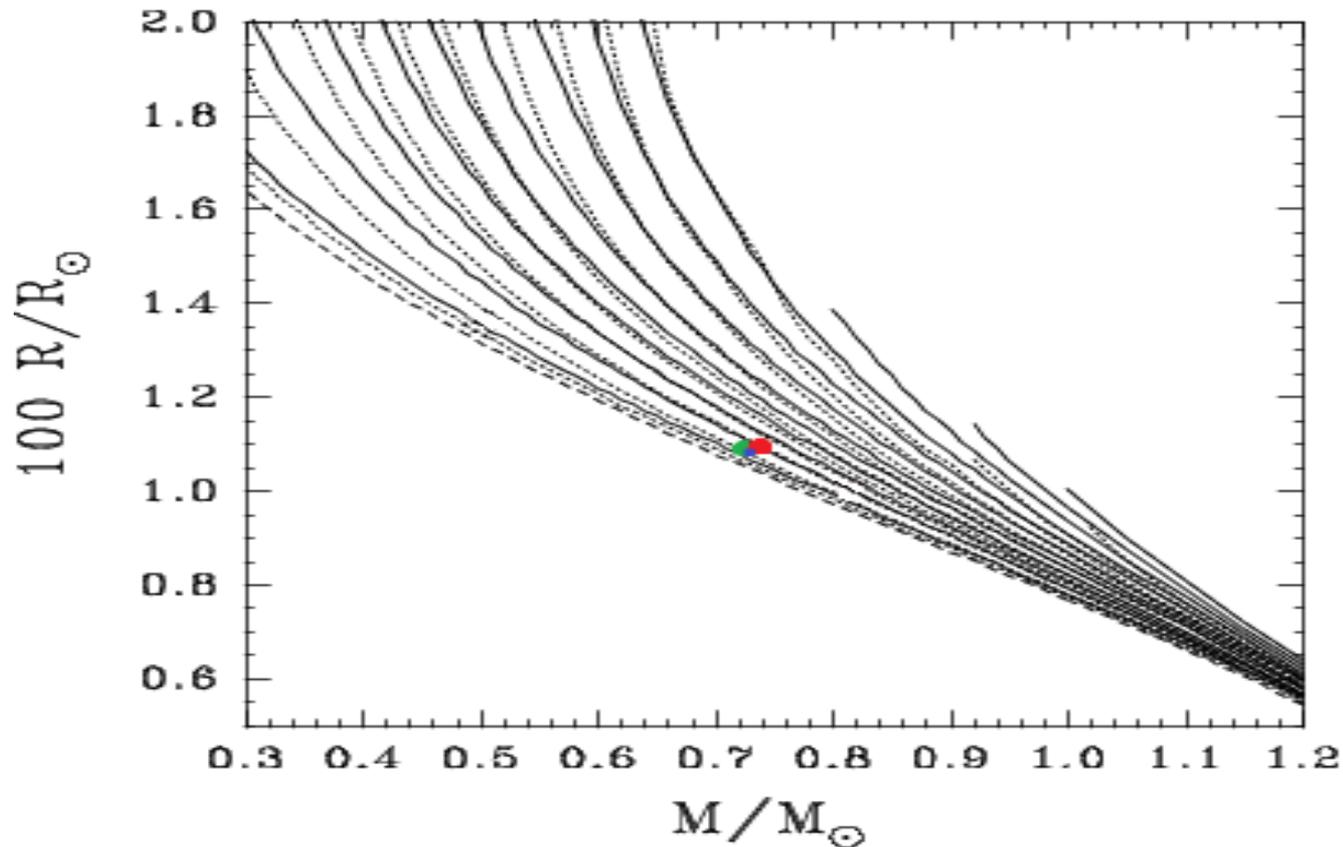
# Описание наблюдаемого спектра



Моделирование система FL Psc ручного согласования (слева) и автоматического (справа)

Объекты	Параметры	Ручной анализ	Автоматический анализ
TY Psc	$T_{\text{eff}}$ [K]	22000+/-1300	25000+/-2500
	$\log g$	8.2+/-0.09	8.2+/-0.15
FL Psc	$T_{\text{eff}}$ [K]	19000+/-1300	22500+/-2500
	$\log g$	8.3+/-0.09	8.2+/-0.15
V455 And	$T_{\text{eff}}$ [K]	19000+/-1300	22000+/-2500
	$\log g$	8.0+/-0.09	8.2+/-0.15

# Массы и радиуса БК были найдены по трехпараметрической зависимости



Трехпараметрическая зависимость  $M - R - T$  для БК (слева) с кислородным ядром и наложенными системами (красная точка-TY Psc, синяя – FL Psc, зелёная – V455 And).

J.A.Panei,L.G.Althaus (2000).

## Найденные параметры с использованием трехпараметрической сетки Панней:

Анализ	Параметры	TY Psc	FL Psc	V455 And
Ручной	$M_1 [M_\odot]$	0.72 +/- 0.06	0.78 +/- 0.06	0.60 +/- 0.06
	$R_1 [R_\odot]$	0.0111 +/- 0.0007	0.0103 +/- 0.0007	0.0125 +/- 0.001
Автоматический	$M_1 [M_\odot]$	0.74 +/- 0.02	0.72 +/- 0.02	0.72 +/- 0.02
	$R_1 [R_\odot]$	0.0109 +/- 0.0001	0.0110 +/- 0.0001	0.0110 +/- 0.0001
Литературный	$M_1 [M_\odot]$	0.7 +/- 0.14 [1]	0.75 +/- 0.05	0.6

1. Guillaume D.(2018)      2. C. Knigge, (2006).      3. P. Szkody, A. S. Mukadam, (2013).

## Определение параметров вторичной компоненты

**Теоретико-эмпирическая формула Игглтона:**

1) Задавались наборы значений  $q = M_2/M_1$

2) Вычислялись  $(M_2)$  и  $(A)$

3) Рассчитывались  $R_{L2}$

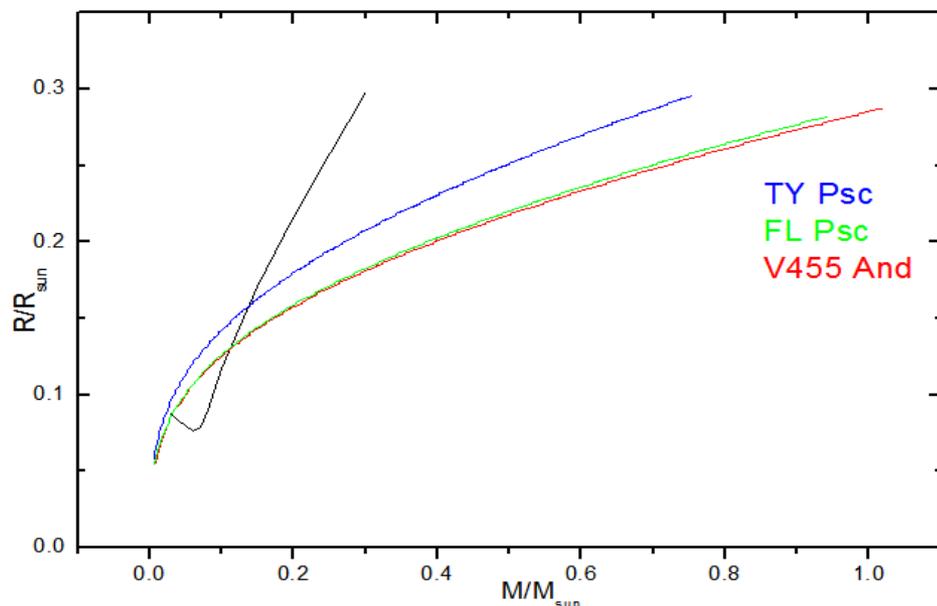
4) Вычислялись значения  $(R_2)$

5) Альтернативные значения  $R_2$

$$R_{L2} = 0.49 * \frac{q^{2/3}}{0.6 * q^{2/3} + \ln(1 + q^{2/3})}$$

Иггтон (P.P. Eggleton), *Astrophys. J.* (1983)

# Альтернативные значения R2



Сравнение зависимостей M-R  
вторичных компонент (цветные  
линии) со звездами Главной  
последовательности.

Анализ	Параметры	TY Psc	FL Psc	V455 And
Ручной	$M_2 [M_\odot]$	0.138+/- 0.005	0.113+/- 0.005	0.112 +/- 0.005
	$R_2 [R_\odot]$	0.158+/-0.002	0.131+/-0.002	0.130+/-0.002
	$R_{L2} [R_\odot]$	0.154+/-0.005	0.137+/-0.002	0.136+/-0.002
	A [R <sub>o</sub> ]	0.672+/-0.002	0.601+/-0.002	0.557+/-0.001
Автоматический	$M_2 [M_\odot]$	0.139+/- 0.005	0.114+/- 0.005	0.112+/- 0.005
	$R_2 [R_\odot]$	0.159+/-0.002	0.132+/-0.002	0.130+/-0.002
	$R_{L2} [R_\odot]$	0.159+/-0.005	0.132+/-0.002	0.137+/-0.002
	A [R <sub>o</sub> ]	0.674+/-0.002	0.587+/-0.002	0.582+/-0.001

# Определение угла наклона и функции масс системы

$$f(M_2) = 10386 \cdot 10^{-11} \cdot K_1^3 \cdot P_{orb}$$

$$f(M_2) = \frac{\sin^3(i) \cdot M_2^3}{(M_1 + M_2)^2}$$

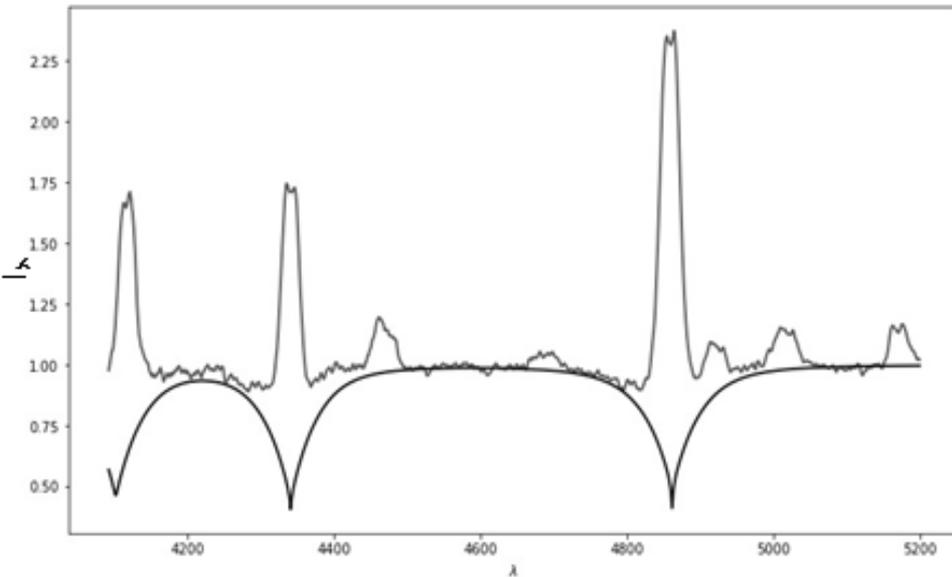
Для TY Psc: K=53 км/с [1]; FL Psc K=46 км/с [2] ; V455 And K=220 км/с [3]

Анализ	Параметры	TY Psc	FL Psc	V455 And
Ручной	$f(M_2)$ [ $M_\odot$ ]	$1.05 \cdot 10^{-3}$	$0.57 \cdot 10^{-3}$	$0.19 \cdot 10^{-3}$
Автоматически	$f(M_2)$ [ $M_\odot$ ]	$1.06 \cdot 10^{-3}$	$1.94 \cdot 10^{-4}$	$0.19 \cdot 10^{-3}$
	$i$ [deg]	42	27	27

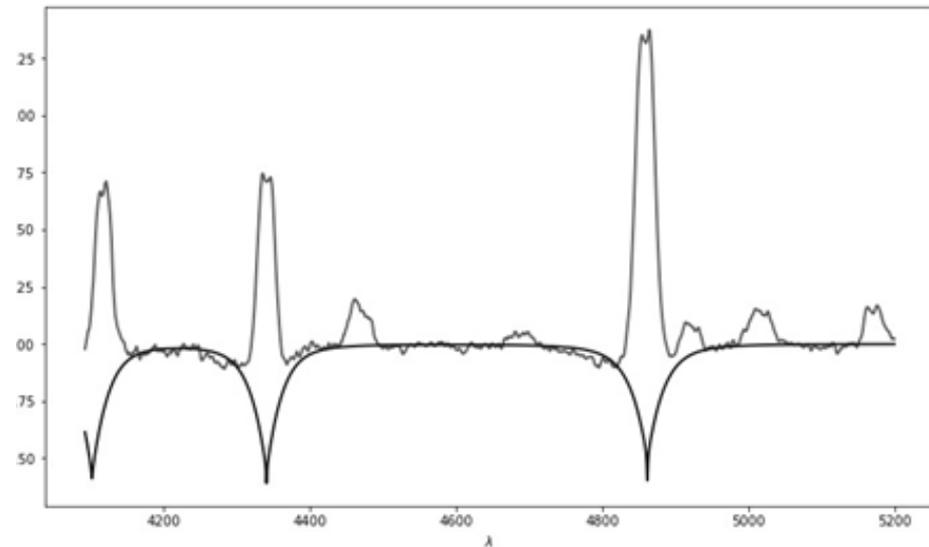
1. Papadaki C. (2009)
2. Templeton M.R. (2006)
3. Araujo-Betancor S. (2005)

# Возможные источники погрешности возникающие при анализе наблюдаемых спектров

## 1. Неправильная нормировка наблюдаемых спектров.

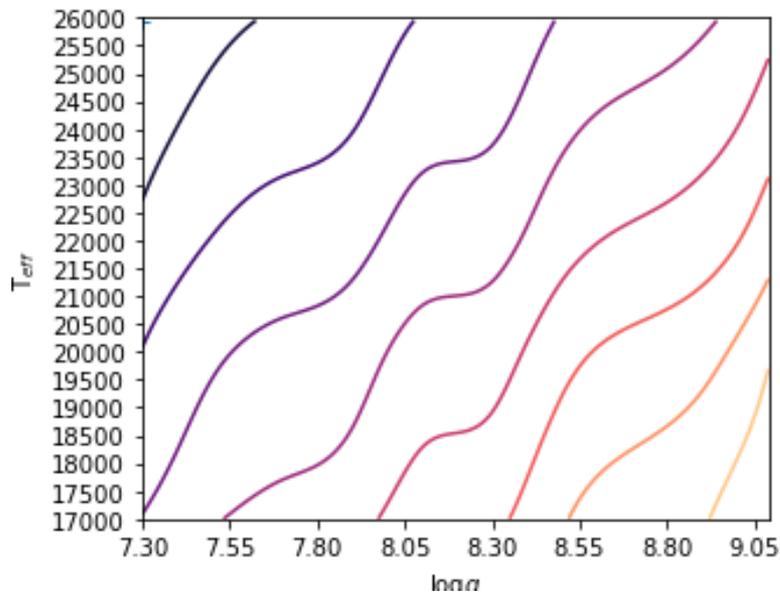


Неправильно нормированный наблюдаемый спектр TY Psc и теоретический спектр с параметрами  $T_{\text{eff}} = 22000\text{K}$  и  $\log g = 8.2$

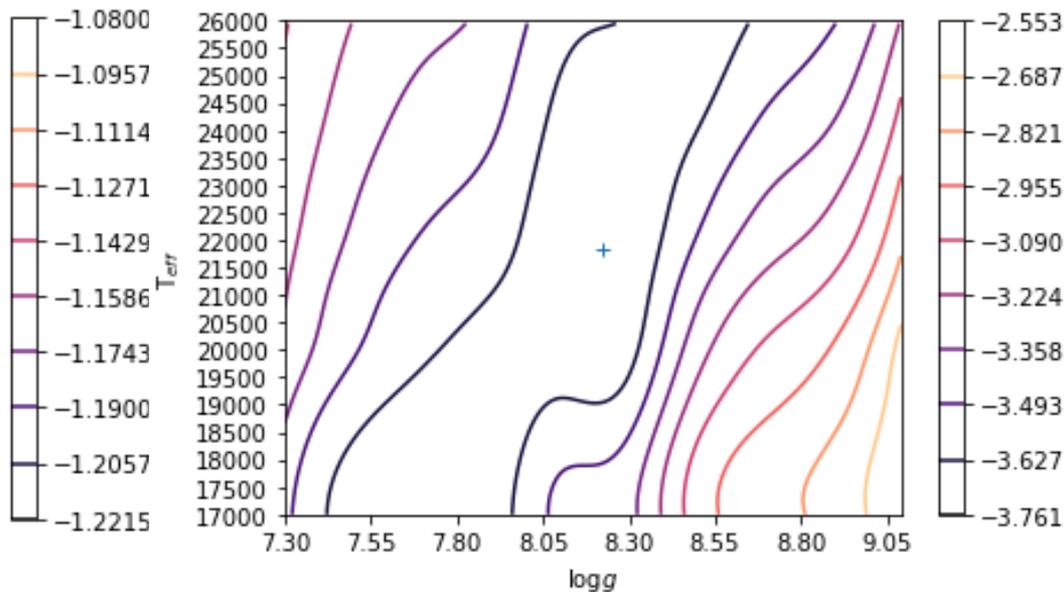


Неправильно нормированный наблюдаемый спектр TY Psc и теоретический спектр с параметрами  $T_{\text{eff}} = 20000\text{K}$  и  $\log g = 7.0$

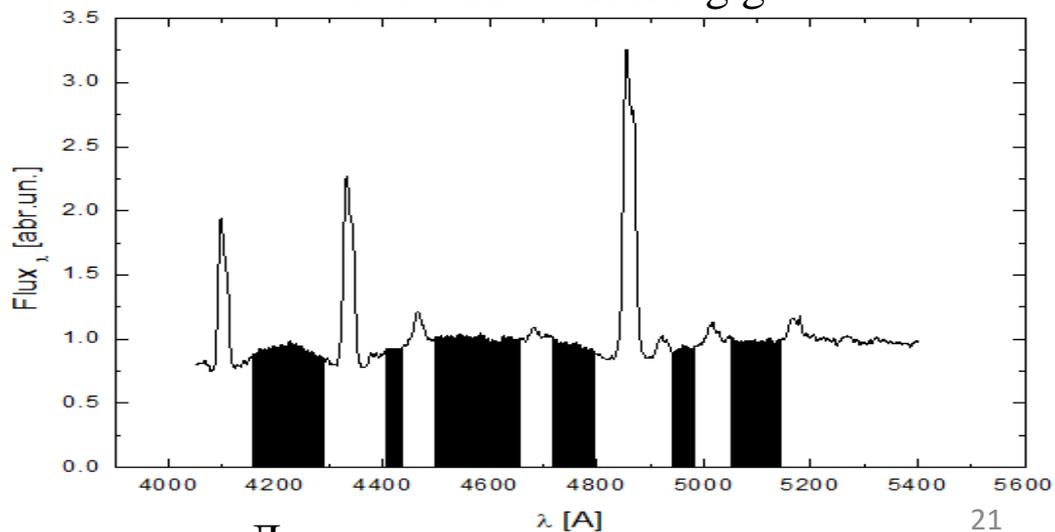
## 2. Не правильно выбранные диапазоны описания спектра.



Неправильный. Система V455 And.  
 $T_{\text{eff}} = 26000\text{K}$  и  $\log g = 7.3$



Правильный. Система V455 And.  
 $T_{\text{eff}} = 22000\text{K}$  и  $\log g = 8.3$



Диапазоны согласования спектров <sup>21</sup>

# Вывод

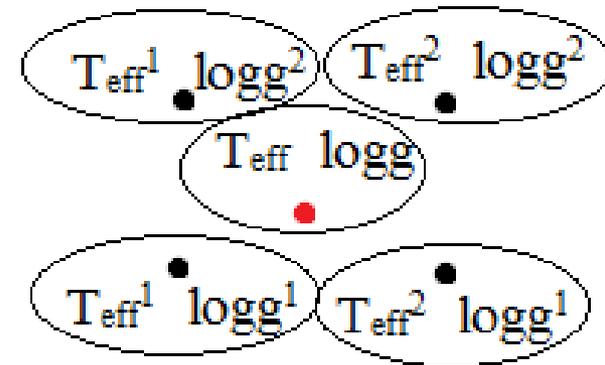
1. Усовершенствована методика определения параметров систем.
2. Реализована методика согласования теоретических и наблюдаемых спектров не только для главных компонент, но и для вторичных компонент.
3. Рассчитаны сетки синтетических спектров белых карликов и реализована методика интерполяции на выбранные значения  $T_{\text{eff}}$  и  $\log g$ .
4. Выработаны критерии согласования теоретических и наблюдаемых спектров в разных методах.
5. Программно реализована методика определения параметров главной и вторичной компоненты, а так же определены возможные ошибки.
6. Определены фундаментальные параметры исследуемых систем: TY Psc, FL Psc и V455 And.

**Спасибо за внимание!**

Анализ	Параметры	TY Psc	FL Psc	V455 And
Ручной	$T_{\text{eff}}$ [K]	22000+/-1300	19000+/-1300	19000+/-1300
	Log	8.2+/-0.09	8.3+/-0.09	8.0+/-0.09
	$M_1$ [ $M_{\odot}$ ]	0.72+/-0.06	0.78+/-0.07	0.60+/-0.05
	$R_1$ [ $R_{\odot}$ ]	0.0111+/-0.0007	0.0103+/-0.0007	0.0125+/-0.001
	$F(M_2)$ [ $M_{\odot}$ ]	$1.05 \cdot 10^{-3}$	$0.57 \cdot 10^{-3}$	$0.19 \cdot 10^{-3}$
	$M_2$ [ $M_{\odot}$ ]	0.138+/-0.05	0.113+/-0.005	0.112+/-0.005
	$R_2$ [ $R_{\odot}$ ]	0.158+/-0.002	0.131+/-0.002	0.130+/-0.002
	$R_{L1}$ [ $R_{\odot}$ ]	0.35+/-0.01	0.33+/-0.01	0.3+/-0.01
	$R_{L2}$ [ $R_{\odot}$ ]	0.154+/-0.005	0.137+/-0.002	0.136+/-0.002
	A [ $R_{\odot}$ ]	0.67+/-0.02	0.60+/-0.02	0.55+/-0.01
Автоматический	$T_{\text{eff}}$ [K]	25000+/-2500	22500+/-2500	22000+/-2500
	Log	8.3+/-0.15	8.2+/-0.15	8.2+/-0.15
	$M_1$ [ $M_{\odot}$ ]	0.74+/-0.02	0.72+/-0.02	0.72+/-0.02
	$R_1$ [ $R_{\odot}$ ]	0.0109+/-0.0001	0.011+/-0.0001	0.011+/-0.0111
	$F(M_2)$ [ $M_{\odot}$ ]	$1.056 \cdot 10^{-3}$	$1.937 \cdot 10^{-4}$	$6.227 \cdot 10^{-2}$
	$M_2$ [ $M_{\odot}$ ]	0.139+/-0.05	0.114+/-0.05	0.113+/-0.05
	$R_2$ [ $R_{\odot}$ ]	0.159+/-0.002	0.132+/-0.002	0.130+/-0.002
	i [deg]	42	27	27
	$R_{L1}$ [ $R_{\odot}$ ]	0.208+/-0.01	0.320+/-0.01	0.04+/-0.01
	$R_{L2}$ [ $R_{\odot}$ ]	0.167+/-0.005	0.132+/-0.002	0.137+/-0.002

# При реализации методики автоматического определения параметров были решены следующие задачи

1. Расчет набора синтетических спектров для сетки моделей БК в диапазоне  $T_{\text{eff}}$  10 000–90 000К с шагом 2000К и  $\log g$  6.5–9.5 с шагом 0.25. В диапазоне 3900 - 5400А.
2. Реализация методики интерполяции спектров на произвольные значения  $T_{\text{eff}}$  и  $\log g$ .



$$F_{T_{\text{eff}}} = F(T_{\text{eff}}^1) + \left( \frac{F(T_{\text{eff}}^2) - F(T_{\text{eff}}^1)}{T_{\text{eff}}^2 - T_{\text{eff}}^1} \right) (T_{\text{eff}} - T_{\text{eff}}^1)$$

$$F_{\log g} = F(\log g^1) + \left( \frac{F(\log g^2) - F(\log g^1)}{\log g^2 - \log g^1} \right) (\log g - \log g^1)$$

# Определение параметров вторичной компоненты

1) Задавались наборы значений

$$q = M_2 / M_1$$

2) Вычислялись  $(M_2)$  и  $(A)$

3) Рассчитывались  $R_{L2}$

4) Вычислялись значения  $(R_2)$

5) Альтернативные значения  $R_2$

$$R_{L2} = 0.49 * \frac{q^{2/3}}{0.6 * q^{2/3} + \ln(1 + q^{2/3})}$$

$$\left( \frac{A'}{A_{зем}} \right)^3 = (M_1 + M_2) \left( \frac{P_{orb}}{365.25} \right)^2 \quad A = A' \frac{A_{зем}}{R_{зем}}$$

# Благодарность

Хочу выразить благодарность и признательность моему научному руководителю Шиманскому Владиславу Владимирович за ценные советы, за наставления и консультации.

За помощь в программировании благодарю преподавателя Колбина Александра Ивановича, а также студенток 06-301 и 06-401 групп Семёнову Екатерину и Серебрякову Надежду.