

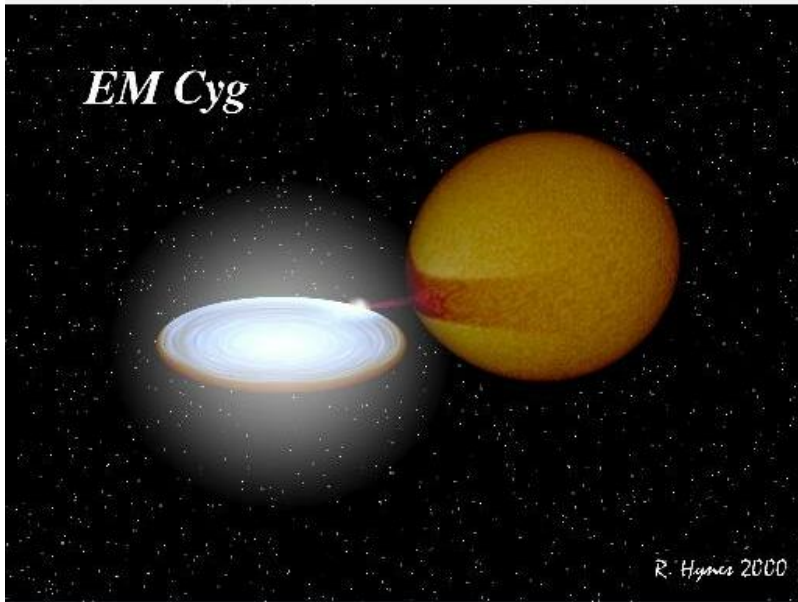


КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

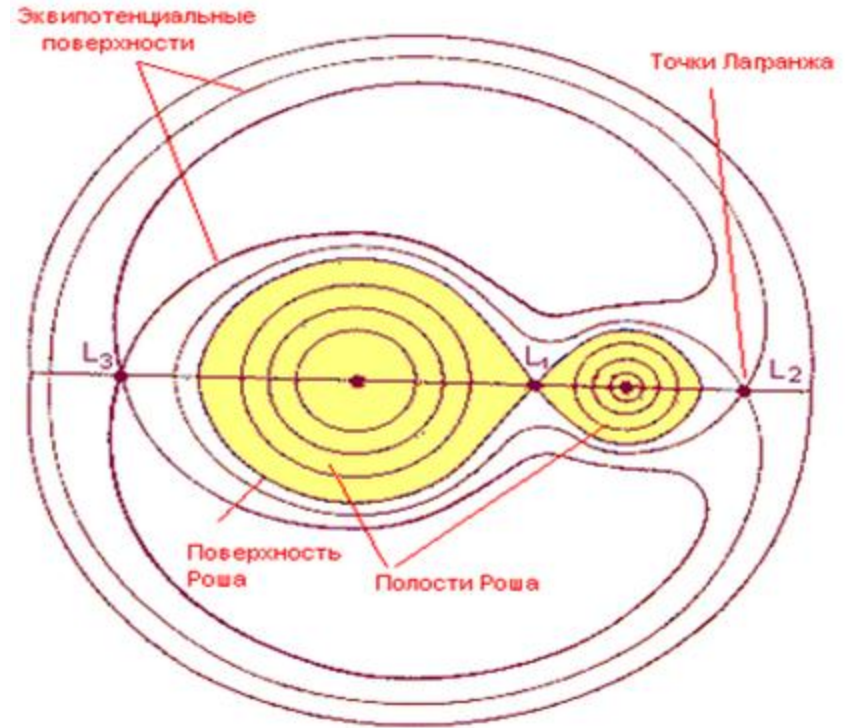
# Фундаментальные параметры систем типа SU UMa и WZ Sge

Дудник А.А., Шиманский В.В.

# Катаклизмические переменные звезды



Катаклизмические переменные с дисковой аккрецией.



Расположение точек перетекания масс – точек Лагранжа.

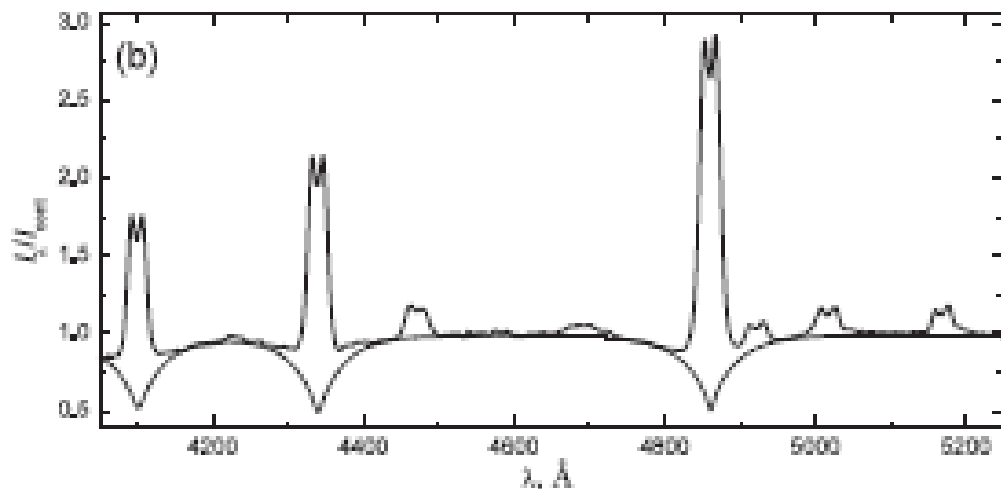
# SU UMa

- 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).

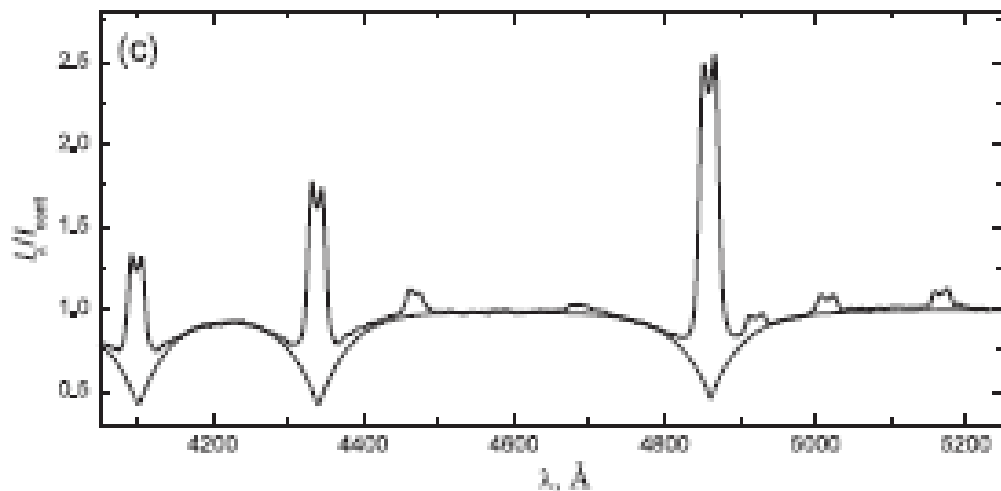
# WZ Sge

- 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 оптических спектров карликовой Новой в низком состоянии



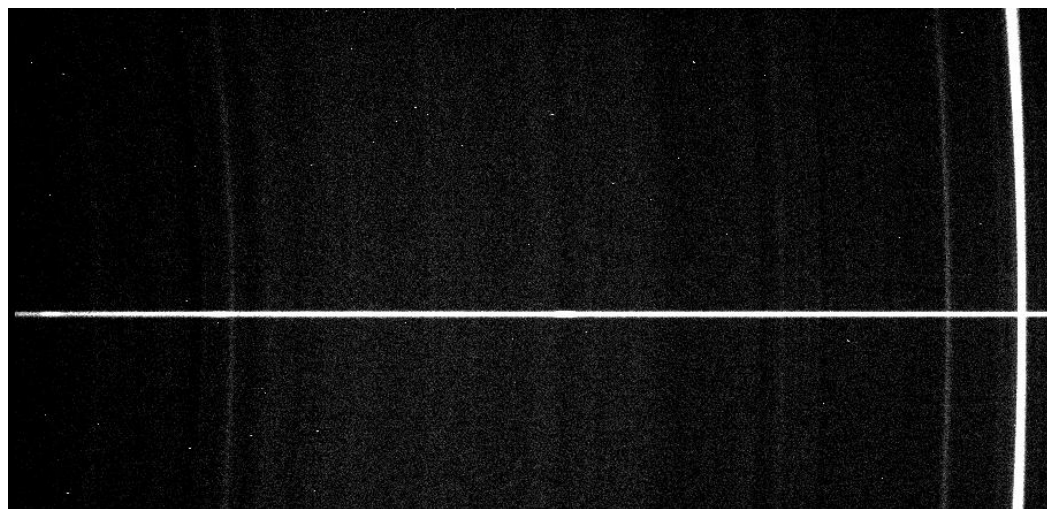
Сравнение наблюдаемых и  
теоретических спектров  
GSC02197–00886.



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

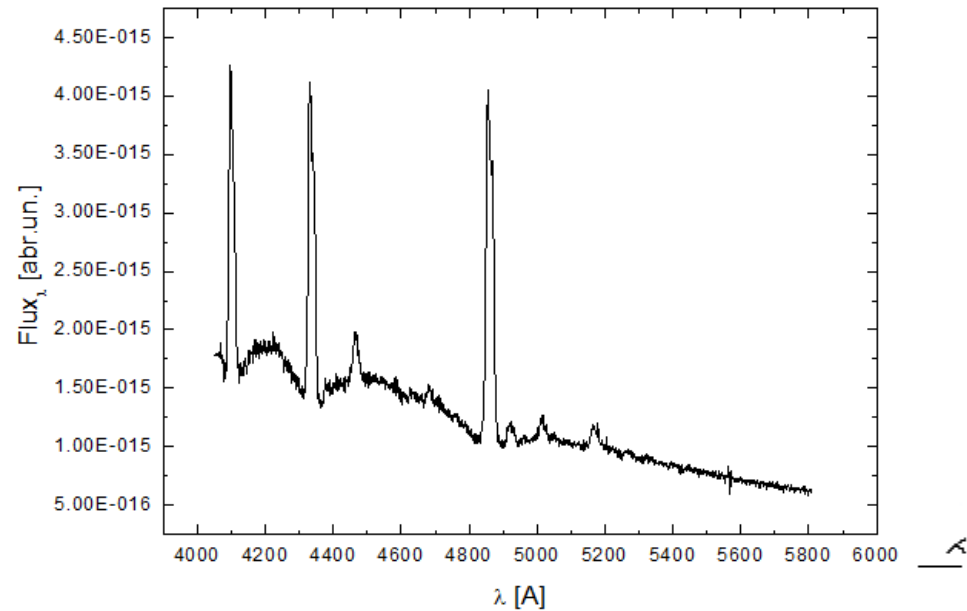
# Наблюдения

Все спектральные наблюдения выполнены на БТА САО РАН с применением редуктора светосилы первичного фокуса SCORPIO-1 (Афанасьев & Моисеев, 2005), призмы 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.

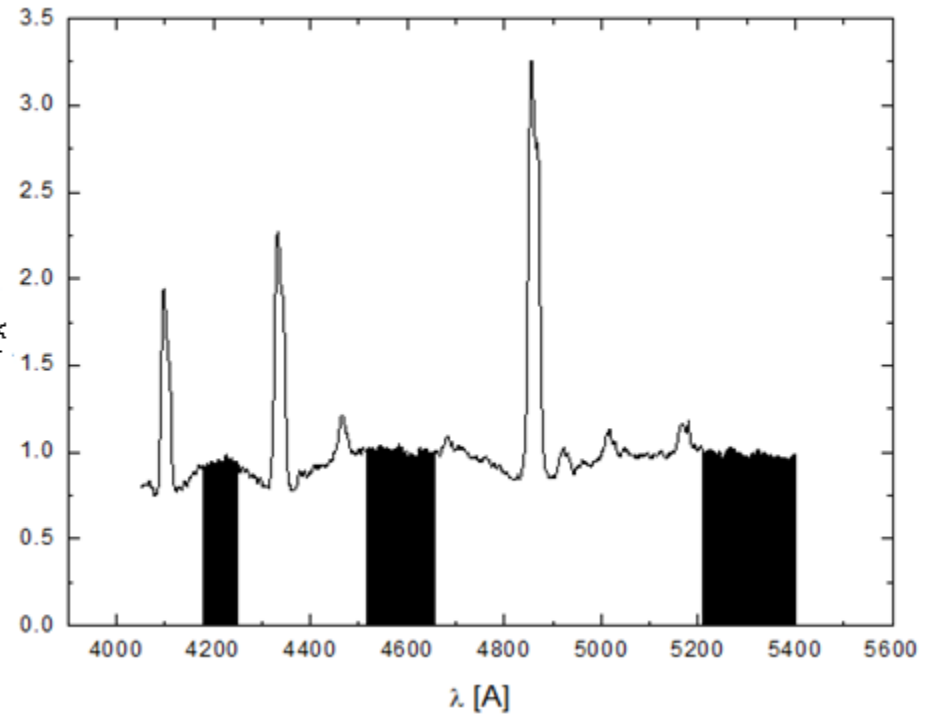


ПЗС-изображение объекта FL Rsc

# Первичная обработка наблюдаемых спектров



Обработанный спектр системы  
FL Psc



Нормированный спектр системы  
FL Psc

# При реализации методики автоматического определения параметров

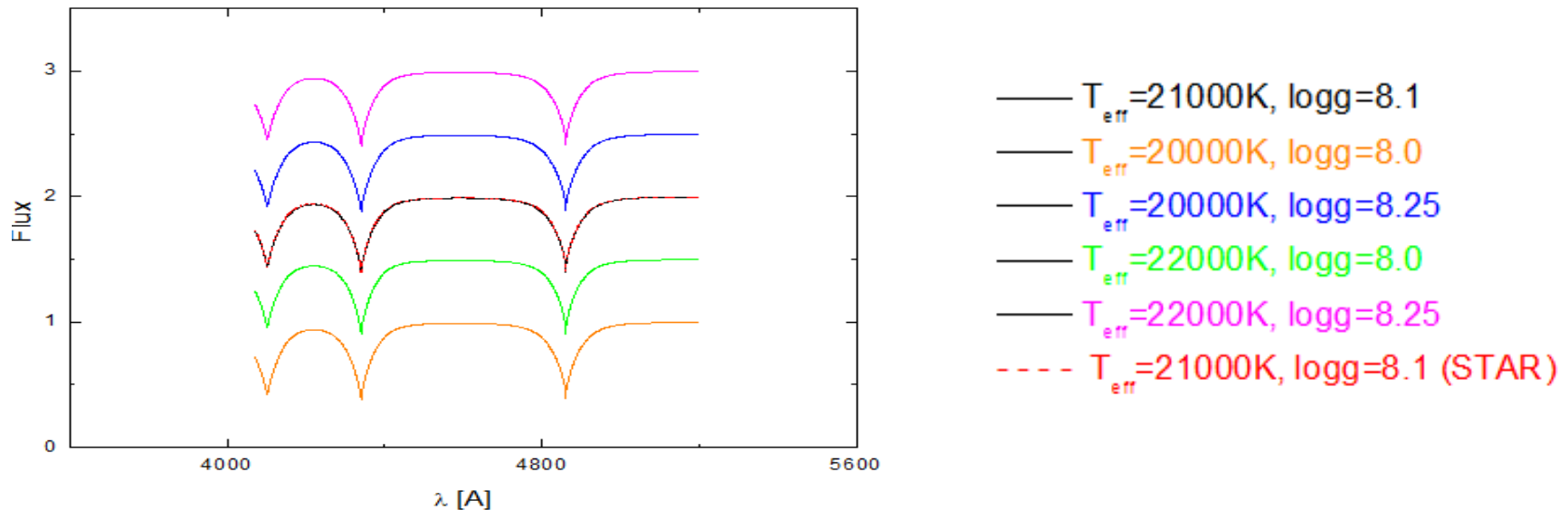
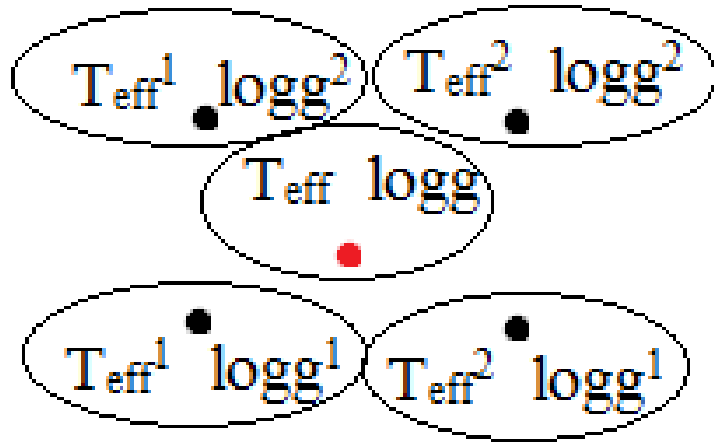
1) Применяли набор синтетических спектров

- В программном комплексе ATLAS12 (Castelli & Kurucz 2003) рассчитаны сетки моделей атмосфер белых карликов с параметрами:

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

- Теоретические спектры рассчитывались с использованием программы STAR (Менжевицкий и др. 2014).

## 2. Реализация методики интерполяции спектров на произвольные значения $T_{\text{eff}}$ и $\log g$ .

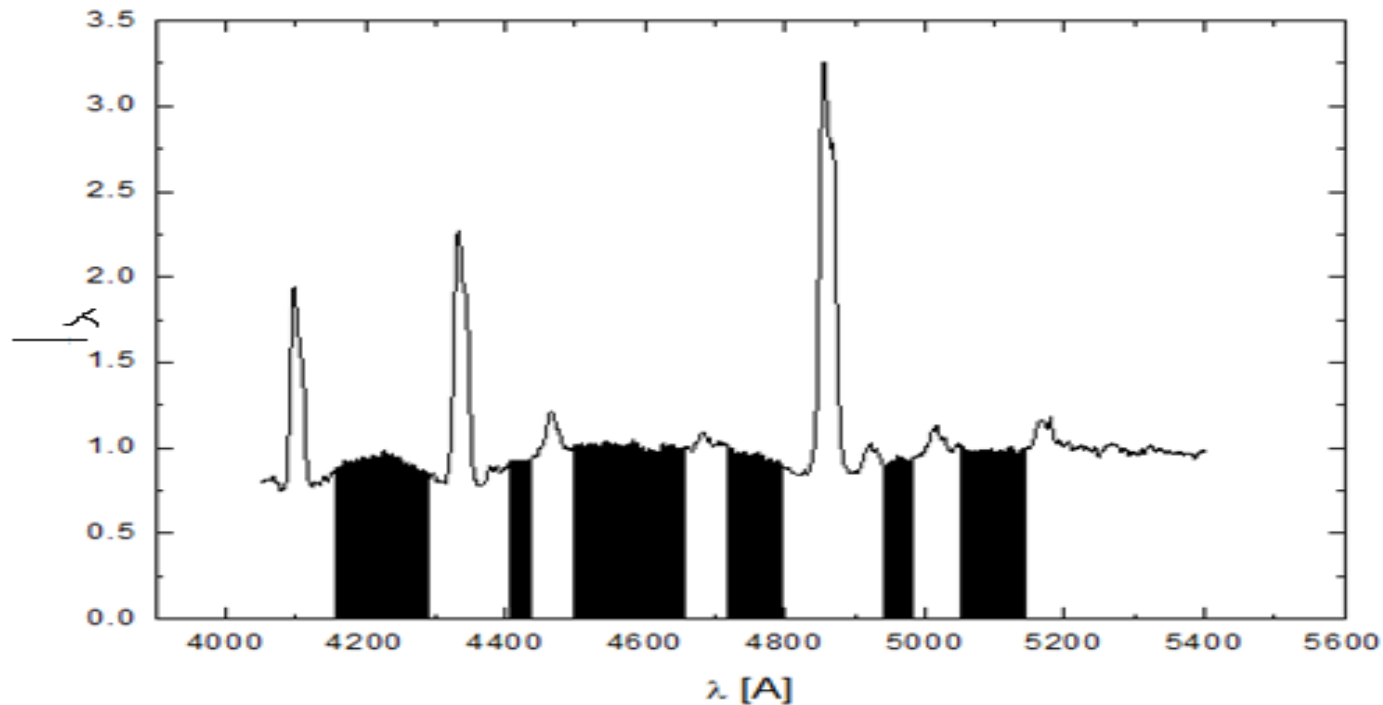


Интерполяция спектра с параметрами  $T_{\text{eff}} = 21000\text{K}$  и  $\log g = 8.1$  из 4-х спектров.



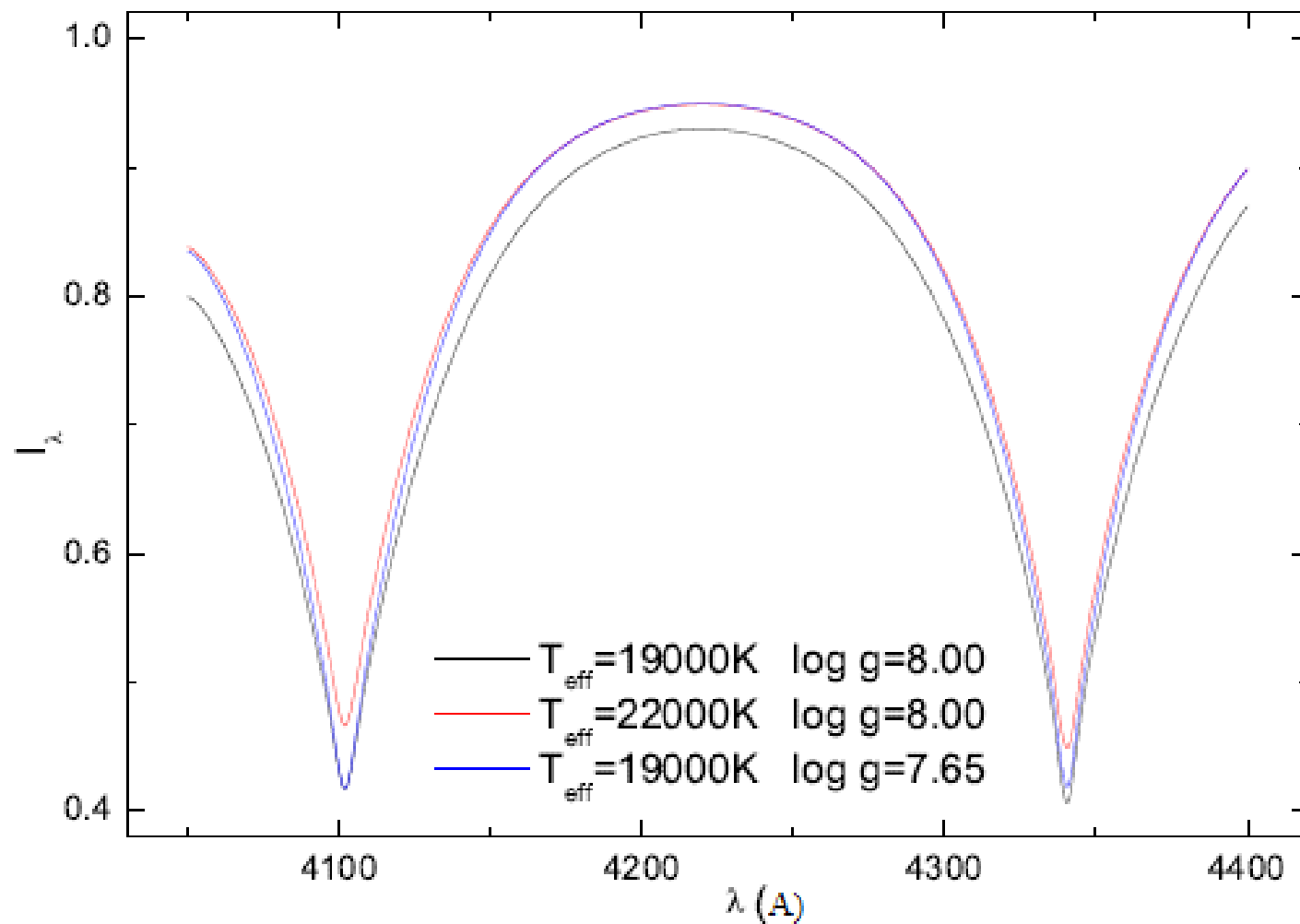
3. Интерполяция теоретического спектра на сетку наблюдаемых длин волн.

4. Определение интервала для анализа наблюдаемых спектров в НИЗКОМ СОСТОЯНИИ



Диапазоны согласования теоретического и наблюдаемого спектра.

# Влияние параметров $T_{\text{eff}}$ и $\log g$ на теоретический спектр

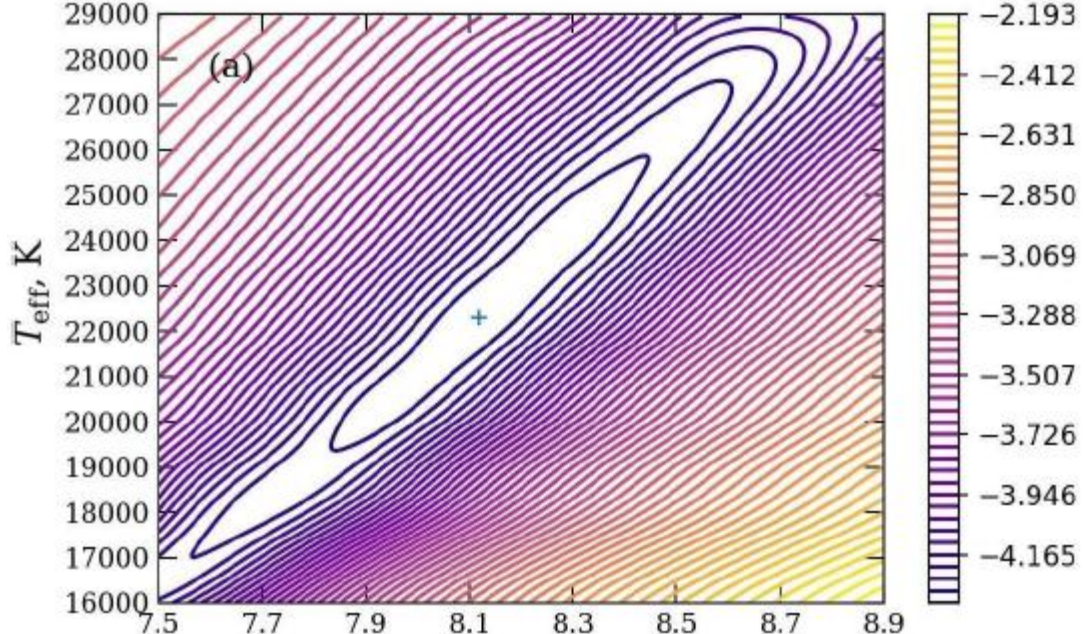


5. Рассчитывалось среднеквадратичное отклонение теоретического спектра от наблюдаемого

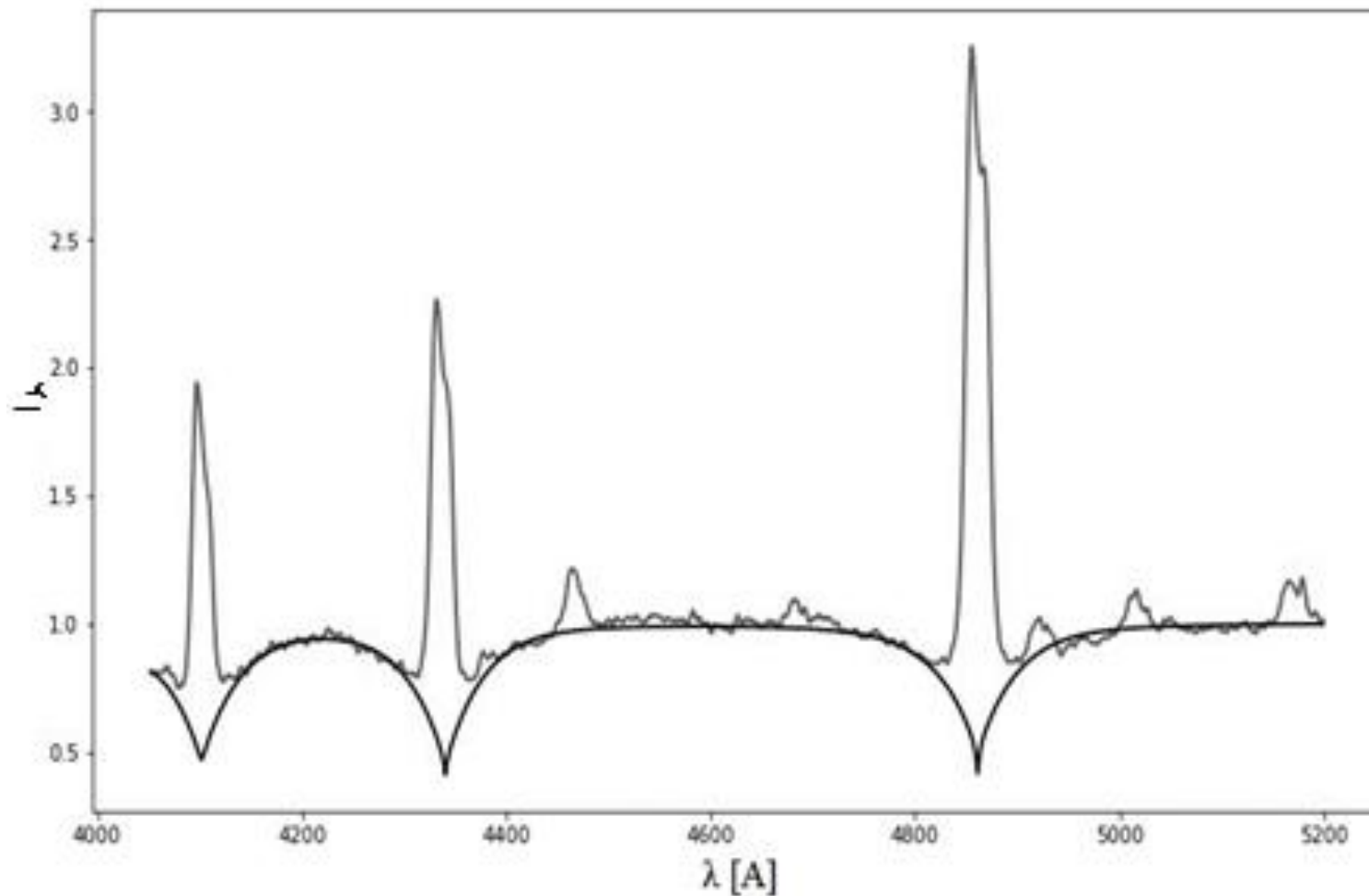
$$S = \sqrt{\sum_d \sum_{\lambda_i}^{N_d} (F_{\lambda_{teor}} - F_{obs}(\lambda))^2 / N}$$

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									3548	0.04923
25000									3272	0.04496
26000									3028	0.04090



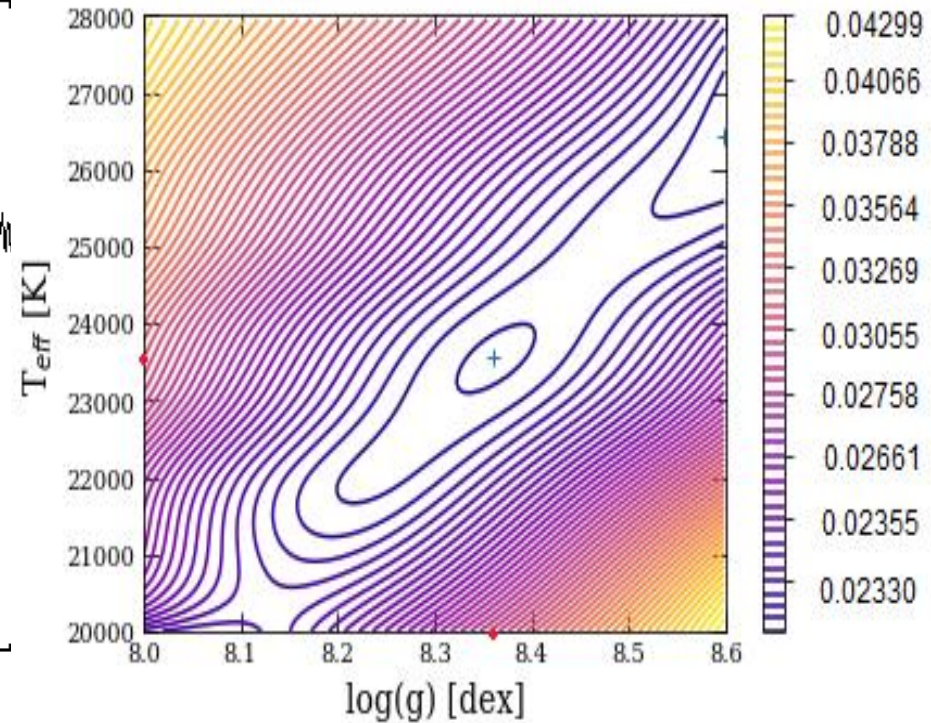
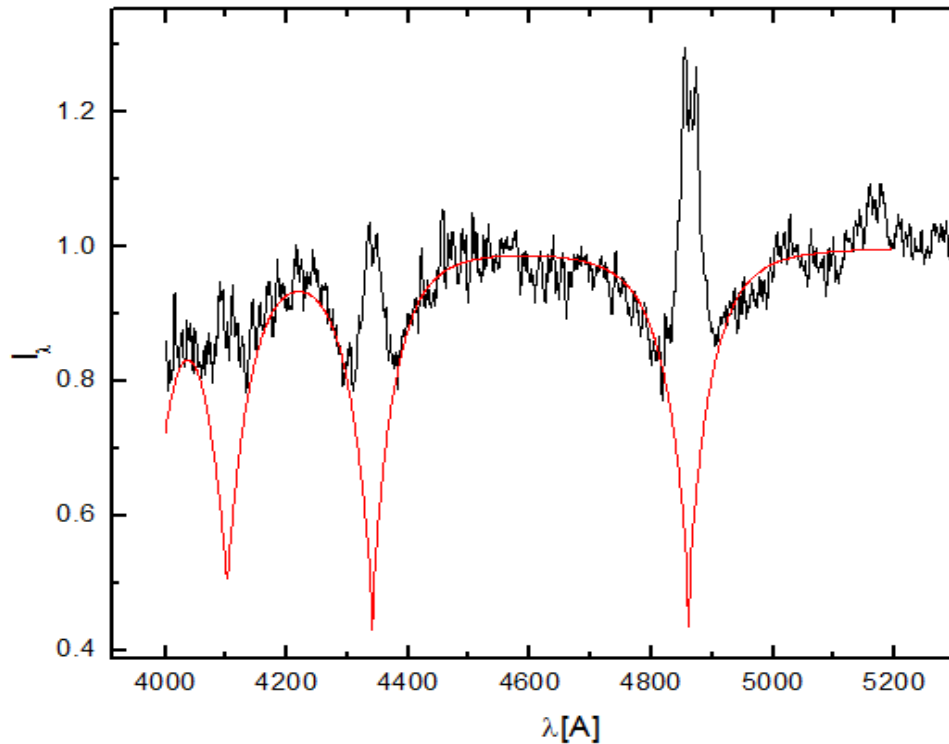
# Описание наблюдаемого спектра



Моделирование система FL Psc

# QW Ser

Porb=0.076858 d



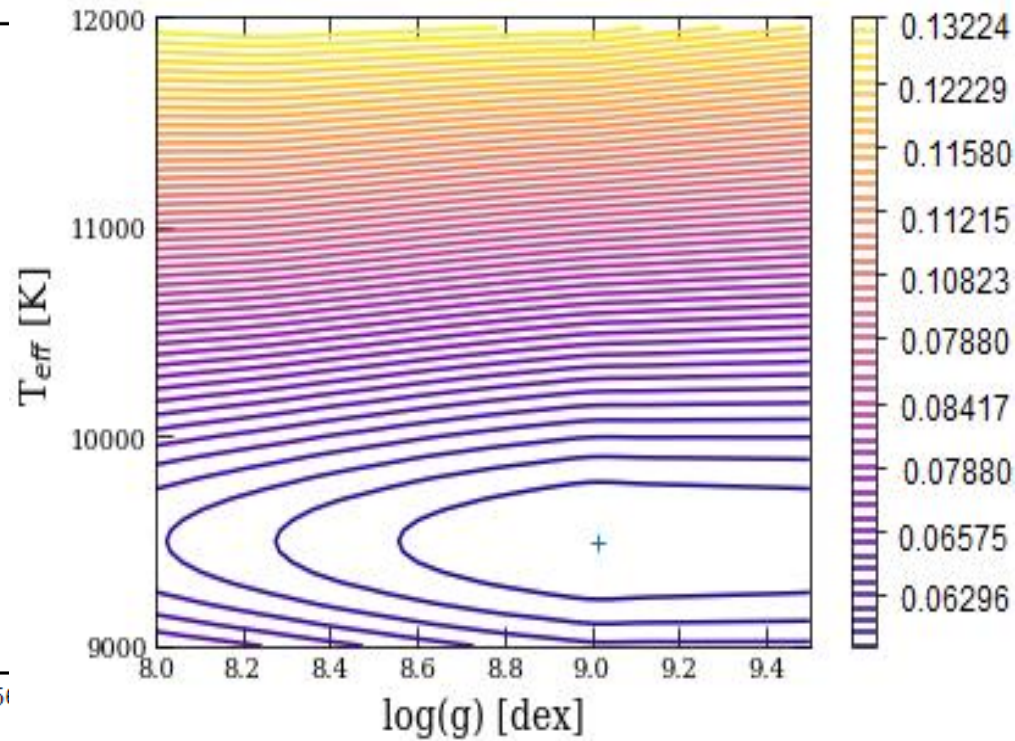
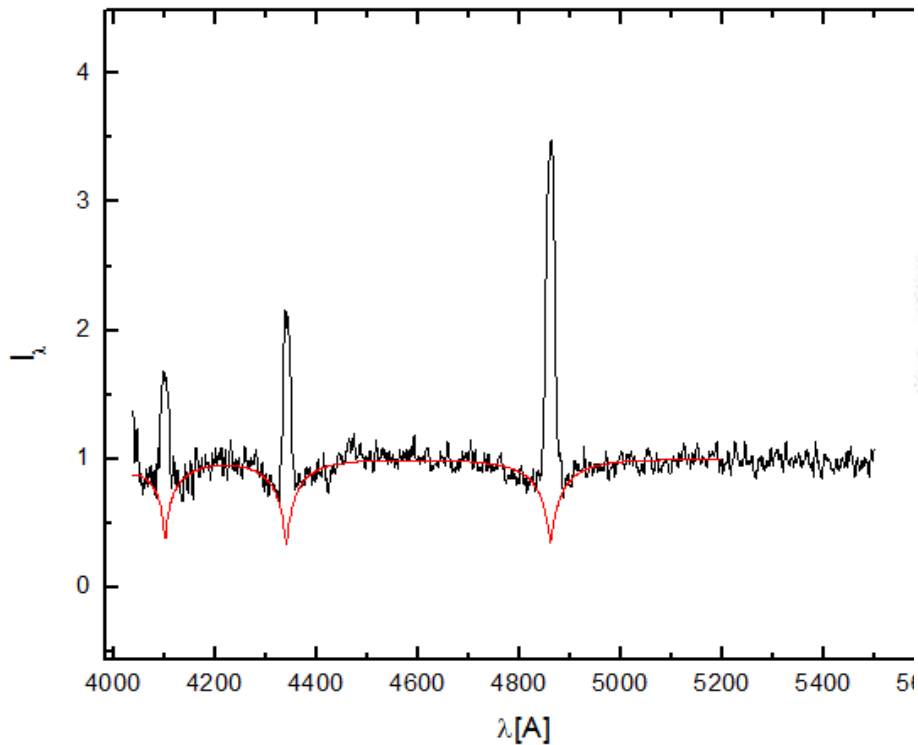
Карта распределения СКО

Наблюдаемый и теоретический спектр

$T_{\text{eff}} = 23500 \pm 400$  K и  $\log g = 8.36 \pm 0.05$  dex

# QZ Lib

Porb = 0.064362 d



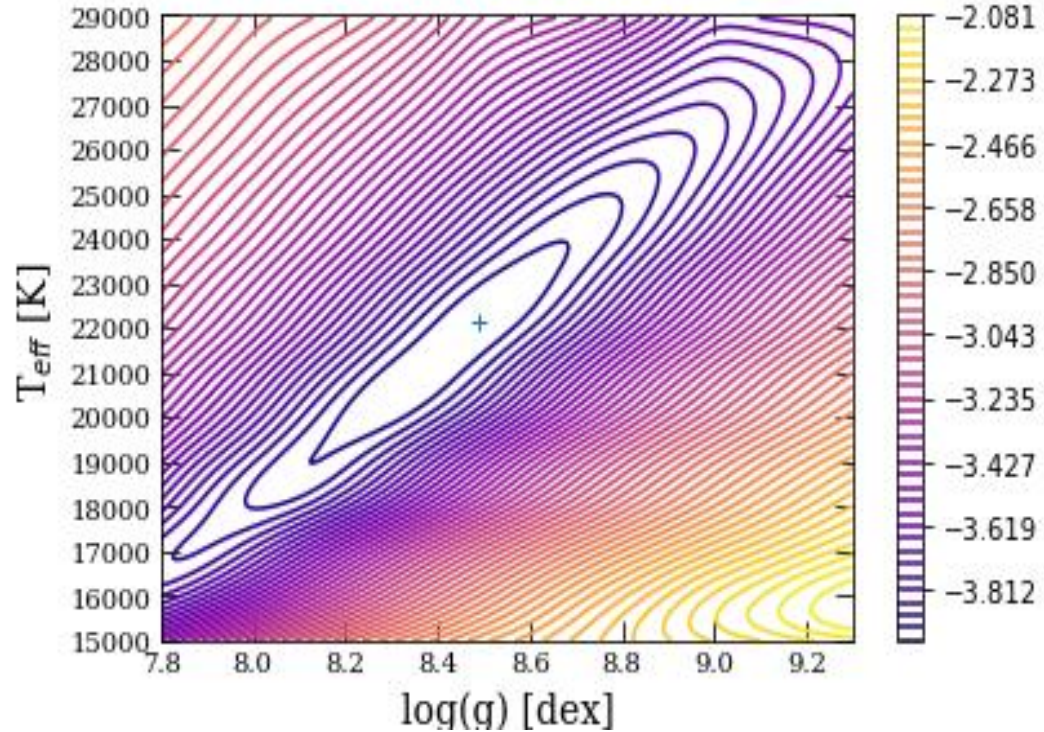
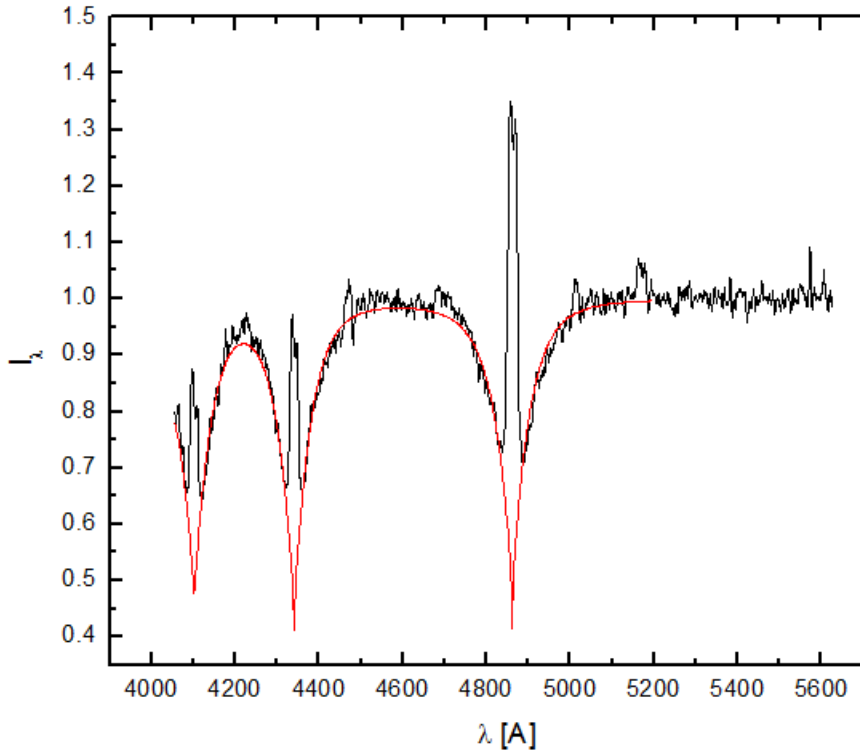
Карта распределения СКО

Наблюдаемый и теоретический спектр

$T_{\text{eff}} = 9500 \pm 300$  K и  $\log g = 9.0 \pm 0.45$  dex

# V355 UMa

Porb=0.057308 d

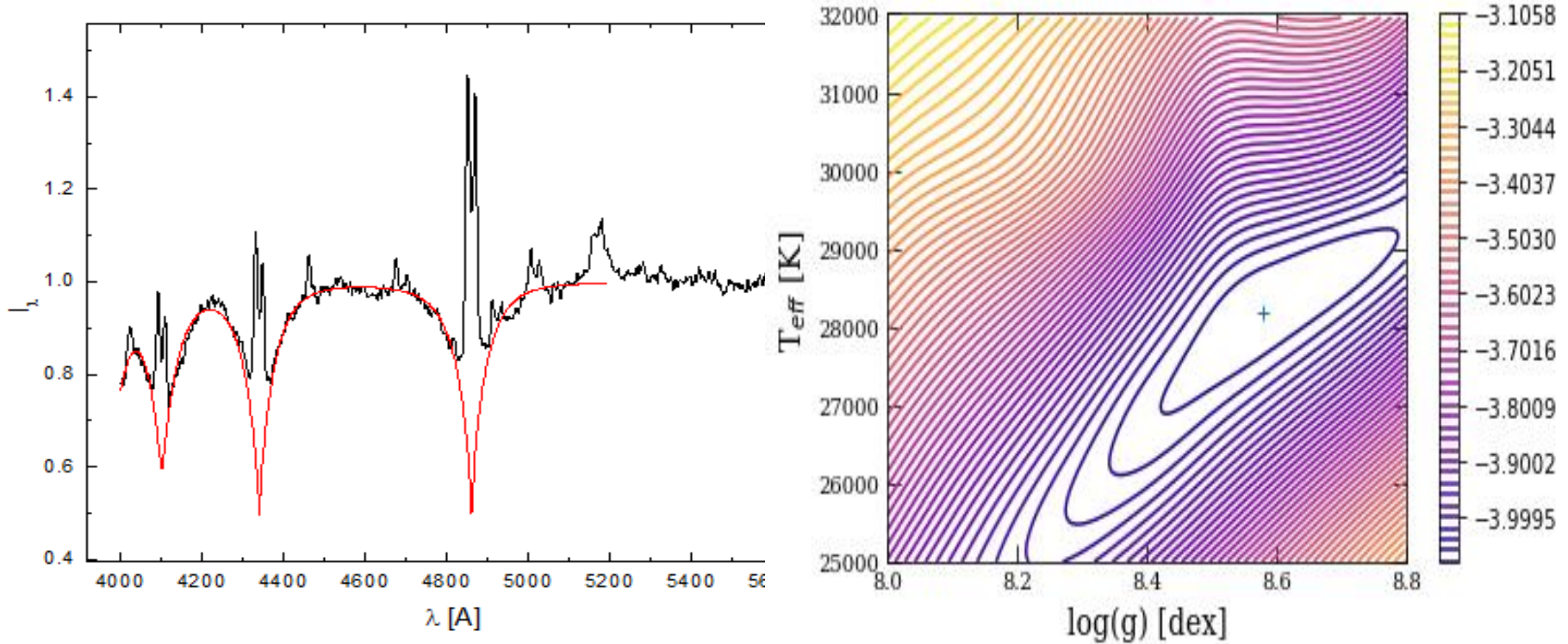


Карта распределения СКО  
Наблюдаемый и теоретический спектр

$T_{\text{eff}} = 22000 \pm 2000$  K и  $\log g = 8.5 \pm 0.2$  dex

# V521 Peg

$P_{orb} = 0.059861d$



Наблюдаемый и теоретический спектр

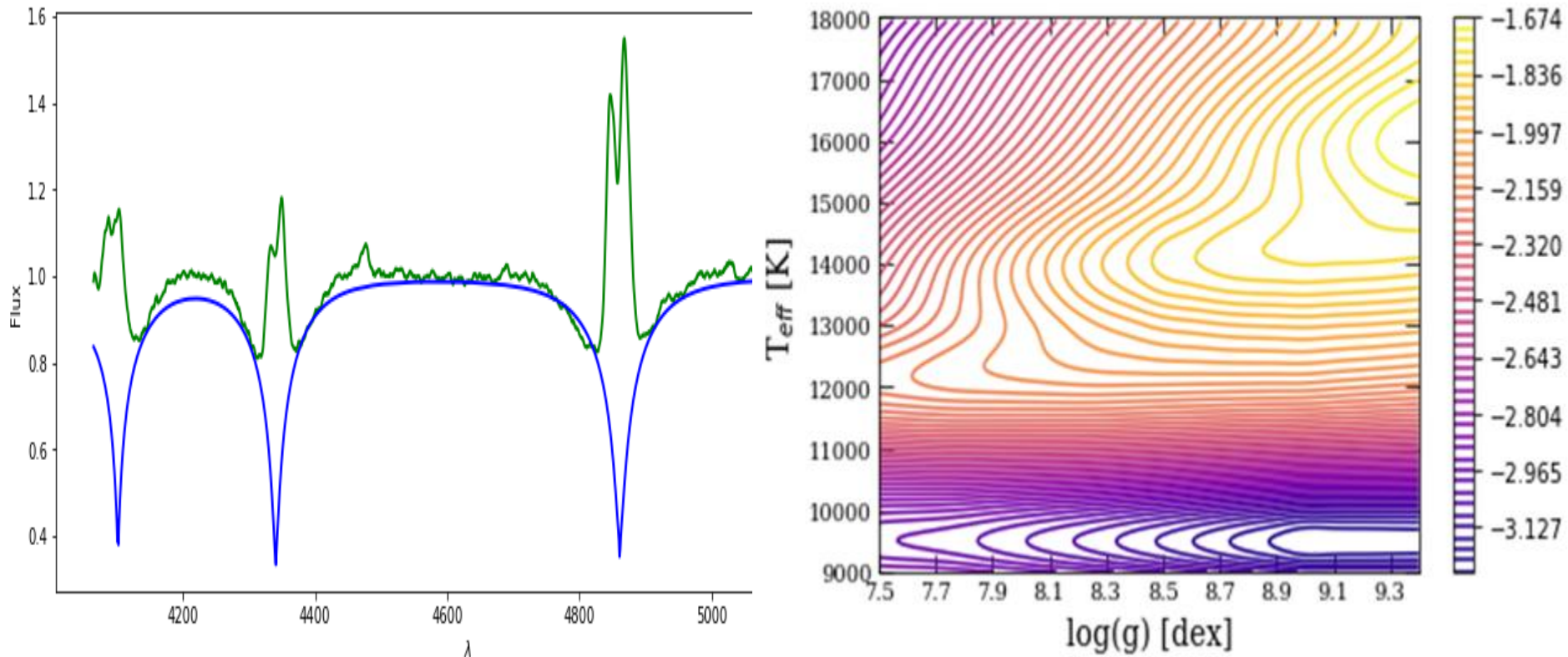
Карта распределения СКО

$T_{eff} = 28000 \pm 1000$  K и  $\log g = 8.6 \pm 0.2$  dex



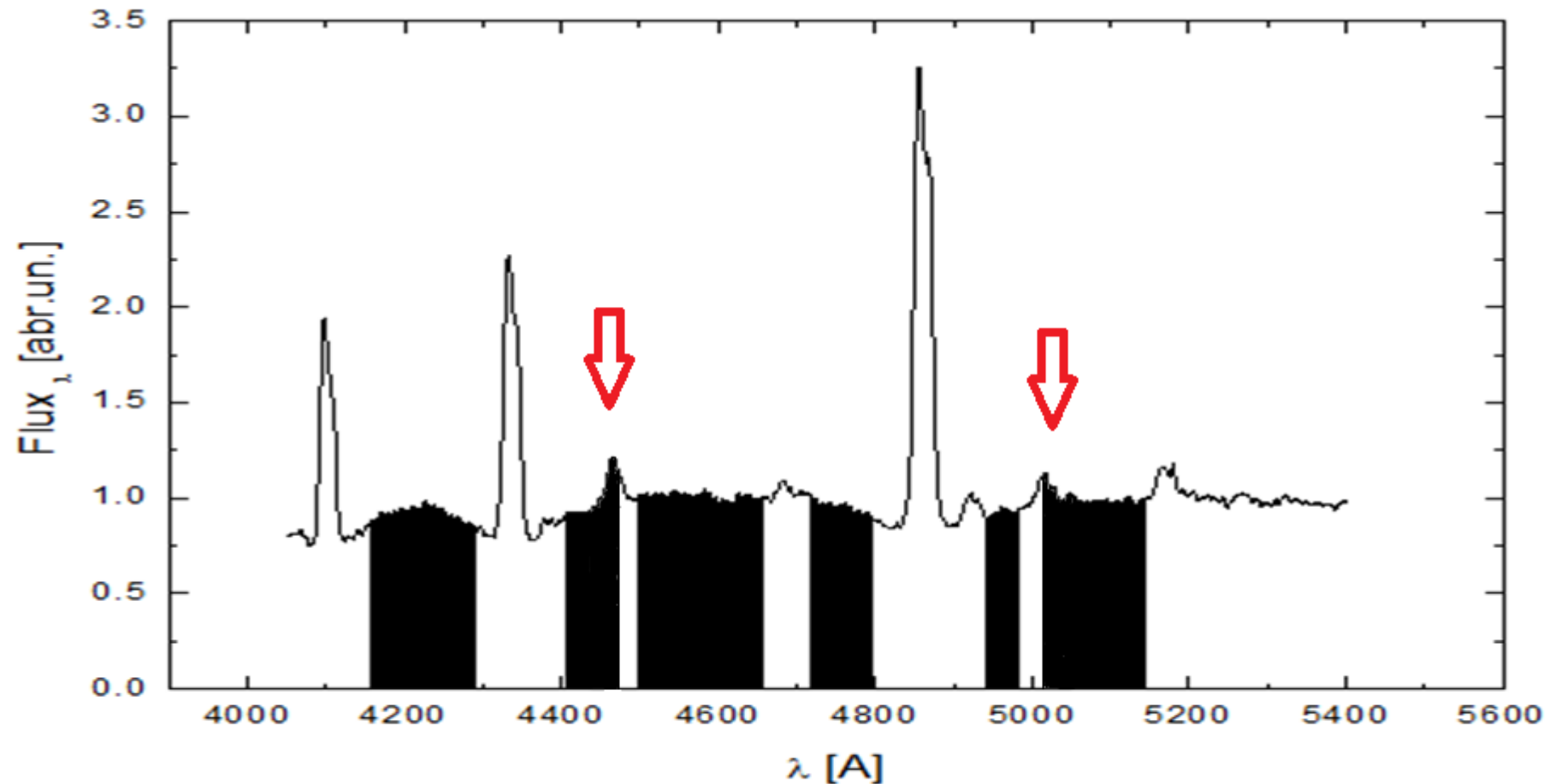
# Возможные источники погрешности возникающие при анализе наблюдаемых спектров

## 1. Неправильная нормировка наблюдаемых спектров.



Результат неправильной нормировки наблюдаемого спектра WZ Sge и карта распределения СКО, соответственно

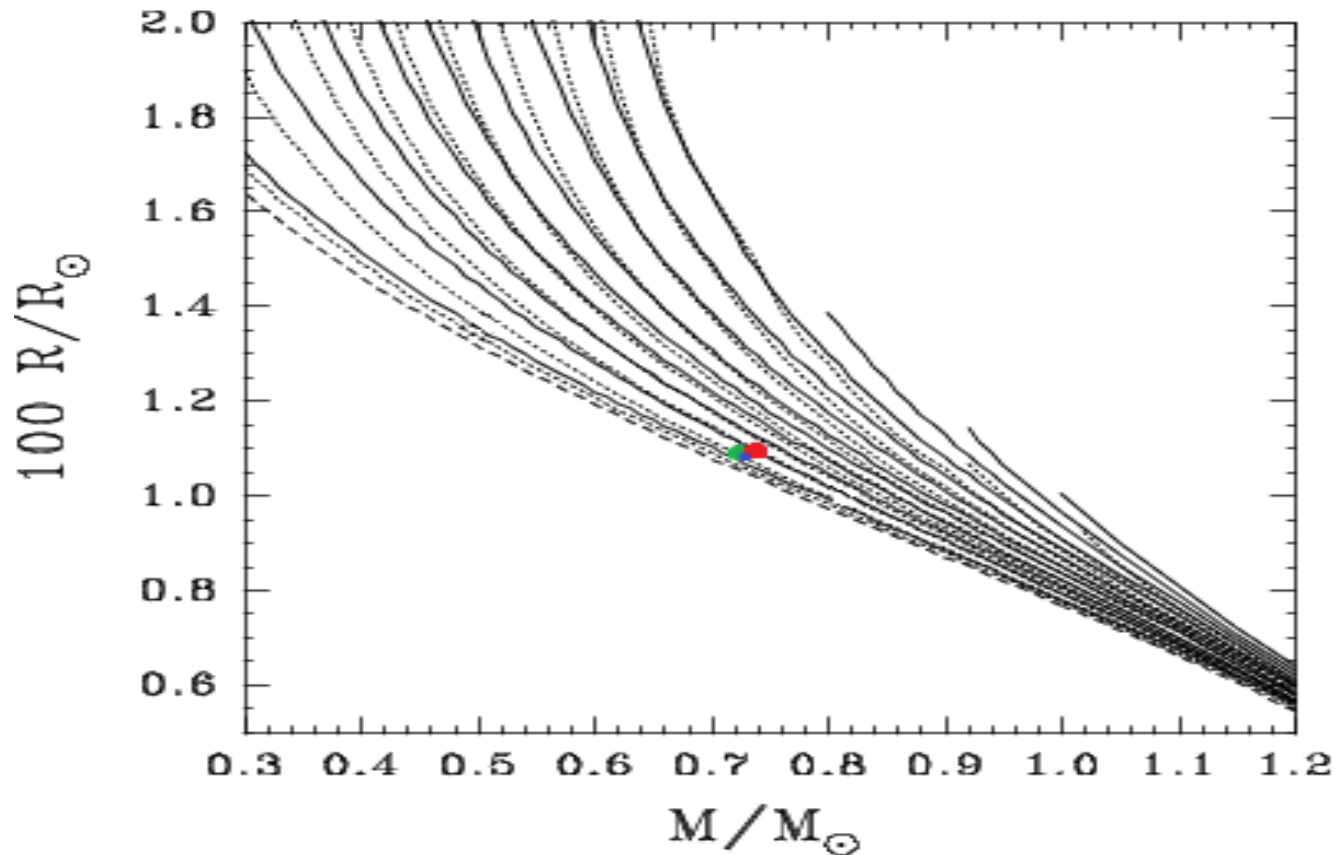
## 2. Не правильно выбранные диапазоны описания спектра.



Не правильно расставленные диапазоны согласования спектров.

Красная стрелка указывает на линии, вошедшие в интервалы согласования

# Массы и радиуса БК были найдены по трехпараметрической зависимости



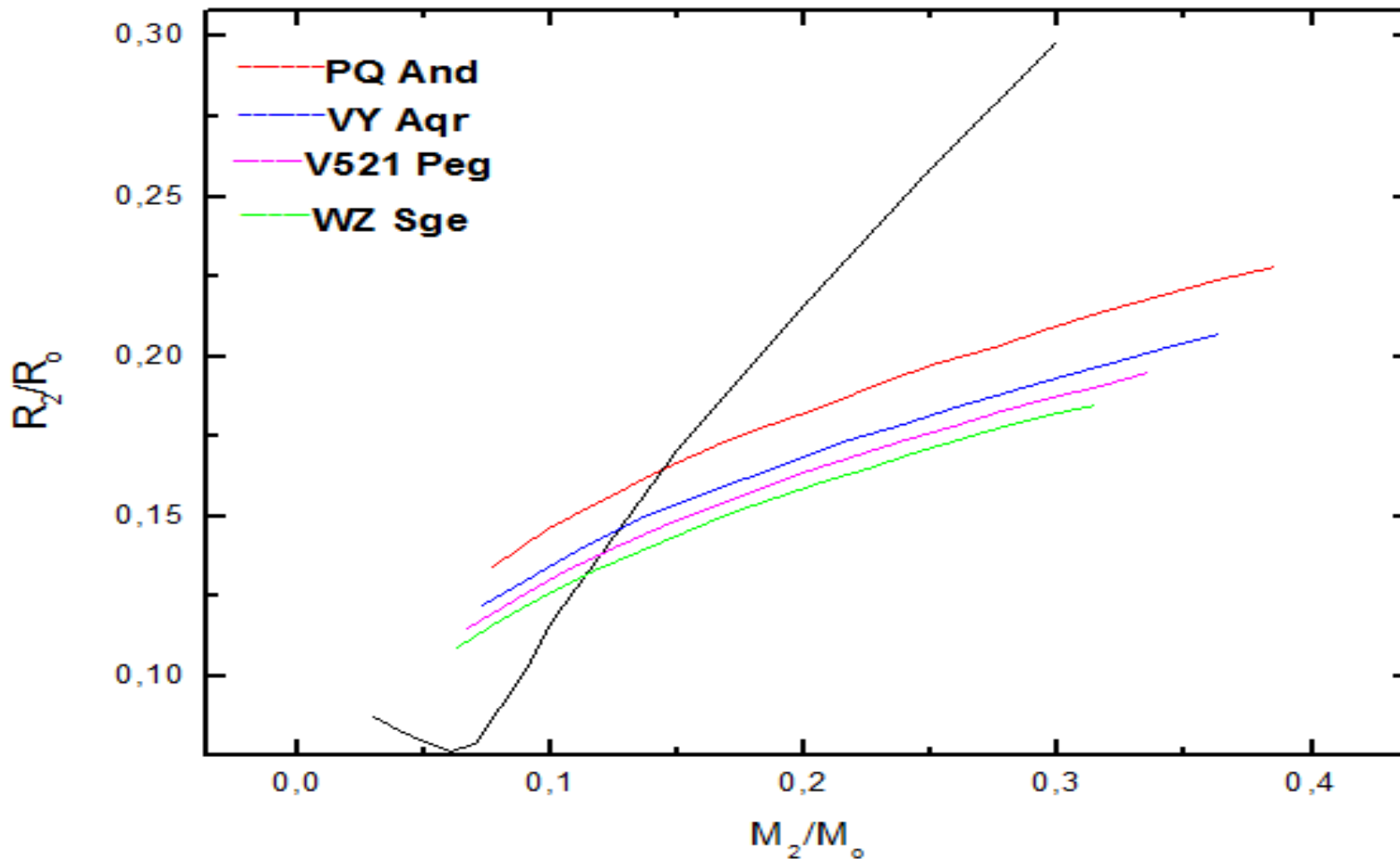
Трехпараметрическая зависимость  $M - R - T$  для БК (слева) с кислородным ядром и наложенными системами (красная точка-ТУ Psc, синяя – FL Psc, зелёная – V455 And).

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

# Определение параметров вторичной компоненты

- 1) Задавались наборы значений  $q = M_2/M_1$
- 2) Вычислялись  $(M_2)$  и  $(A)$
- 3) Рассчитывались  $RL_2$
- 4) Вычислялись значения  $(R_2)$
- 5) Альтернативные значения  $R_2$

## 5) Альтернативные значения R2



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

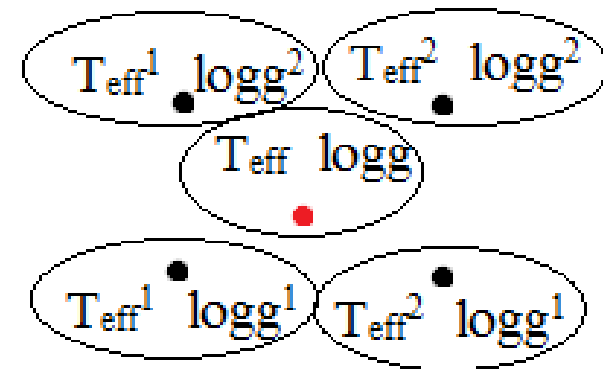
## Полученные параметры исследуемых систем

Параметры	TY Psc	FL Psc	V455 And	V355 UMa	WZ Sge	QW Ser	V521 Peg:	QZ Lib
$T_{\text{eff}}$ [K]	25000+/- 2500	22500+/- 2500	22000+/- 2500	22000+/ -2000	22500+/ -2500	23500 +/- 400	28000 +/-1000	9500+/ - 300
Log g	8.3+/-0.15	8.2+/-0.15	8.2+/-0.15	8.5+/-0.2	8.5+/-0.2	8.4+/-0.2	8.6+/-0.2	>8.55
$M_1$ [ $M_{\odot}$ ]	0.74+/- 0.02	0.72+/- 0.02	0.72+/- 0.02	0.92+/- 0.08	0.94+/- 0.13	0.82 +/- 0.03	0.96 +/- 0.10	> 0.93
$R_1$ [ $R_{\odot}$ ]	0.0109+/- 0.0001	0.011+/- 0.0001	0.011+/- 0.0111	0.0086+/- 0.0014	0.0085+/- 0.0014	0.0099 +/- 0.0004	0.0081+/- 0.0014	>0.0085
$M_2$ [ $M_{\odot}$ ]	0.139+/- 0.05	0.114+/- 0.05	0.113+/- 0.05	0.11+/- 0.01	0.11+/- 0.01	0.16+/- 0.01	0.12+/- 0.01	>0.13
$R_2$ [ $R_{\odot}$ ]	0.159+/- 0.002	0.132+/- 0.002	0.130+/- 0.002	0.13 +/- 0.01	0.13+/- 0.01	0.18+/- 0.01	0.14+/- 0.01	>0.15
A [ $R_{\odot}$ ]	0.674+/- 0.02	0.587+/- 0.02	0.582+/- 0.01	0.633+/- 0.020	0.635+/- 0.01	0.757+/- 0.009	0.660+/- 0.020	>0.687

**Спасибо за внимание!**

# 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  $R_2$

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

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

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

Анализ	Параметры	TY Psc	FL Psc	V455 And
Ручной	$M_1 [M_o]$	0.72 +/- 0.06	0.78 +/- 0.06	0.60+/- 0.06
	$R_1 [R_o]$	0.0111+/- 0.0007	0.0103+/- 0.0007	0.0125+/- 0.001
Автоматический	$M_1 [M_o]$	0.74+/-0.02	0.72+/-0.02	0.72+/-0.02
	$R_1 [R_o]$	0.0109+/-0.0001	0.0110+/-0.0001	0.0110+/-0.0001
Литературный	$M_1 [M_o]$	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).

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

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

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

## Определение параметров вторичной компоненты

- 1) Задавались наборы значений  $q = M_2/M_1$
- 2) Вычислялись  $(M_2)$  и  $(A)$
- 3) Рассчитывались  $RL_2$
- 4) Вычислялись значения  $(R_2)$
- 5) Альтернативные значения  $R_2$

Теоретико-эмпирическая формула Игглтона:

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

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

# При реализации методики автоматического определения параметров

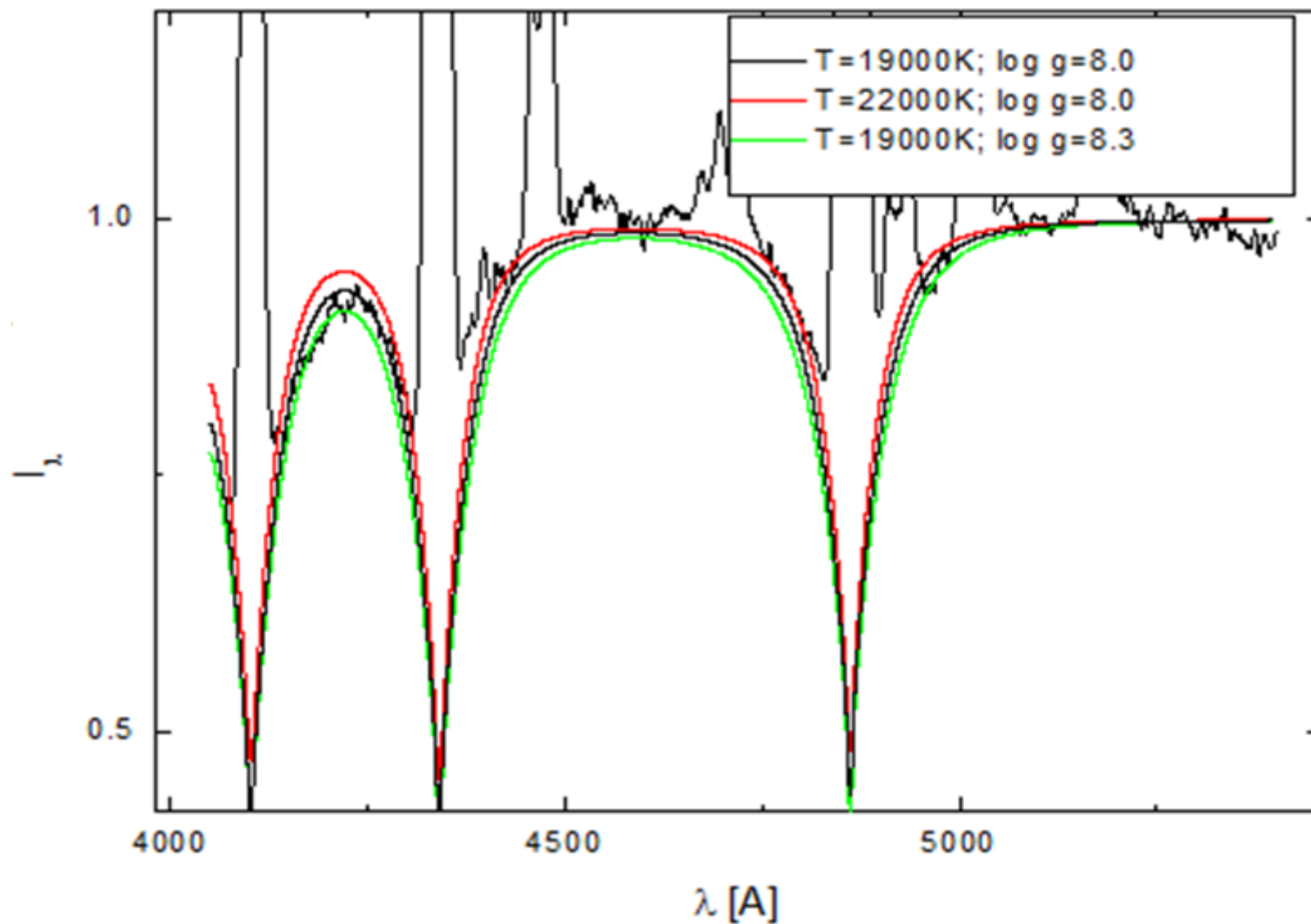
1) Применяли набор синтетических спектров

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

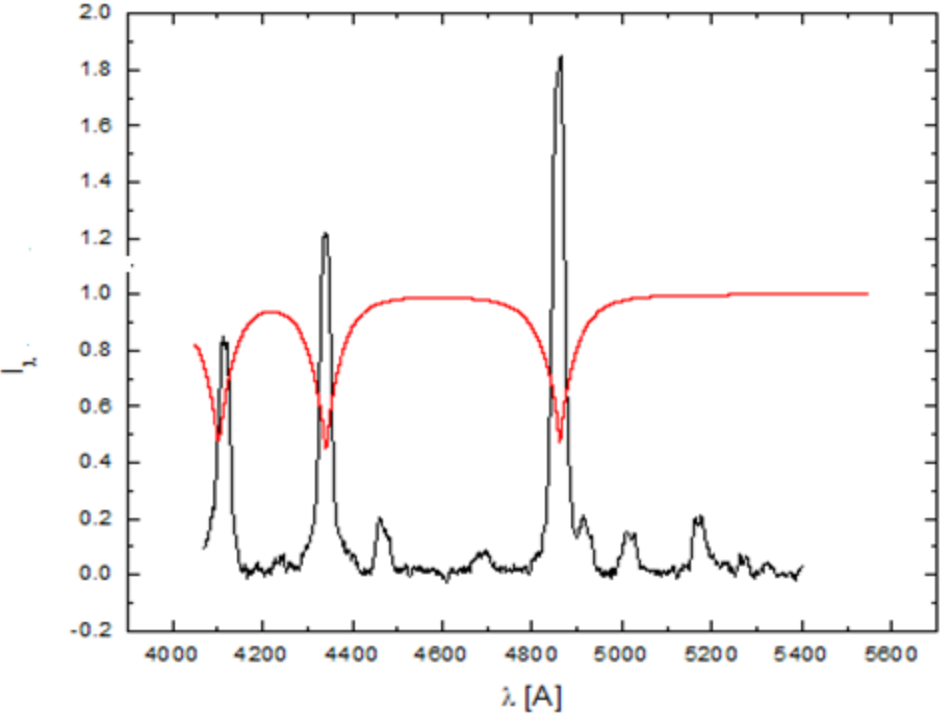
$$T_{\text{eff}} = 10\,000\text{--}90\,000\text{K с шагом } \Delta T_{\text{eff}} = 2000\text{ K,}$$
$$\log g = 6.5\text{--}9.5 \text{ с шагом } \Delta \log g = 0.25,$$
$$\text{при } [\text{He}/\text{H}] = -3 \text{ dex и } [\text{M}/\text{H}] = -5 \text{ dex}$$

- Учитывались все источники непрерывного поглощения линии H<sub>I</sub>, 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.

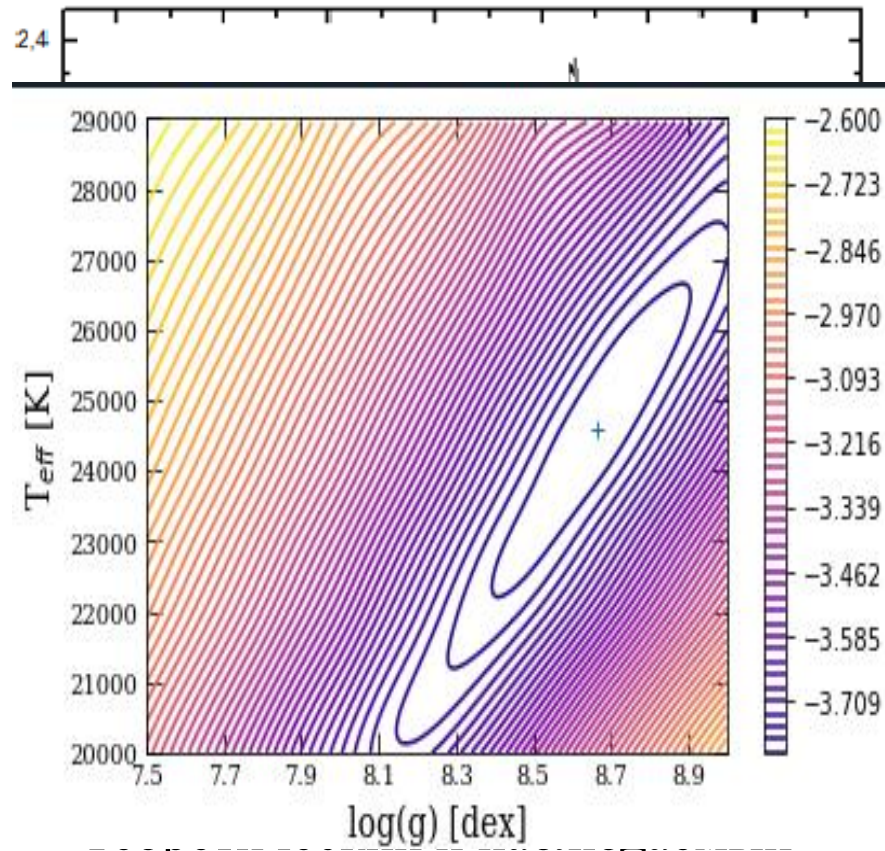
# Влияние параметров $T_{\text{eff}}$ и $\log g$ на теоретический спектр



# Требования к описанию наблюдаемых спектров



Спектр остаточной интенсивности системы TY Psc



спектр TY Psc