

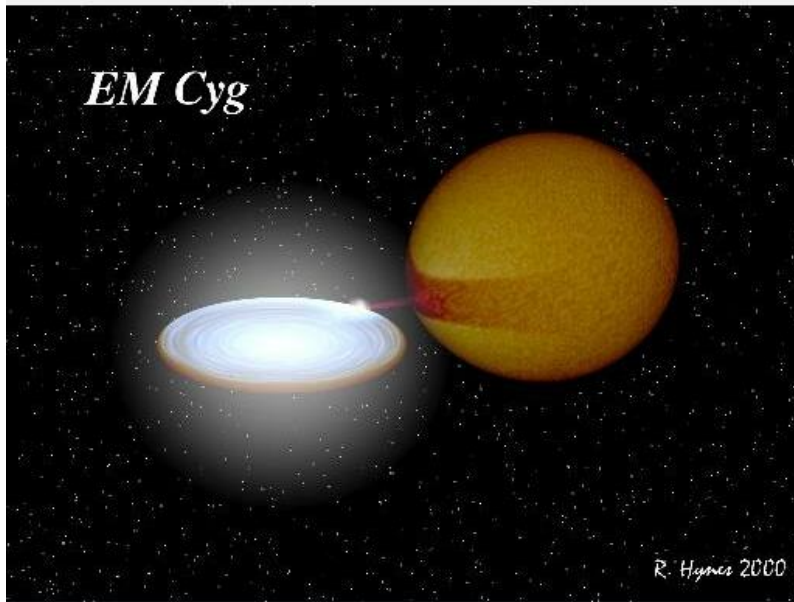


КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

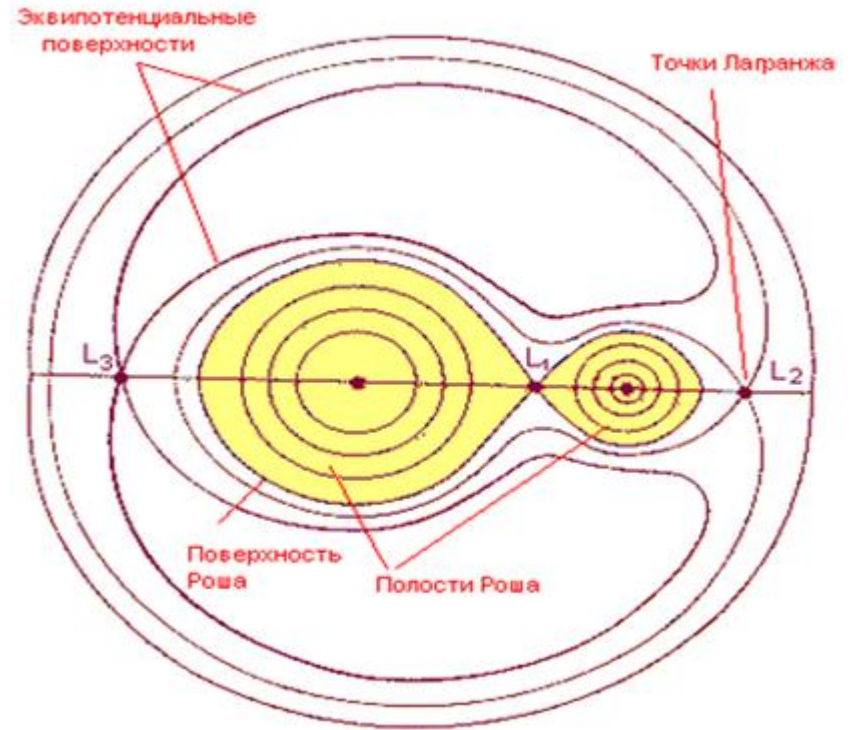
# Анализ методики определения параметров карликовых Новых

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.

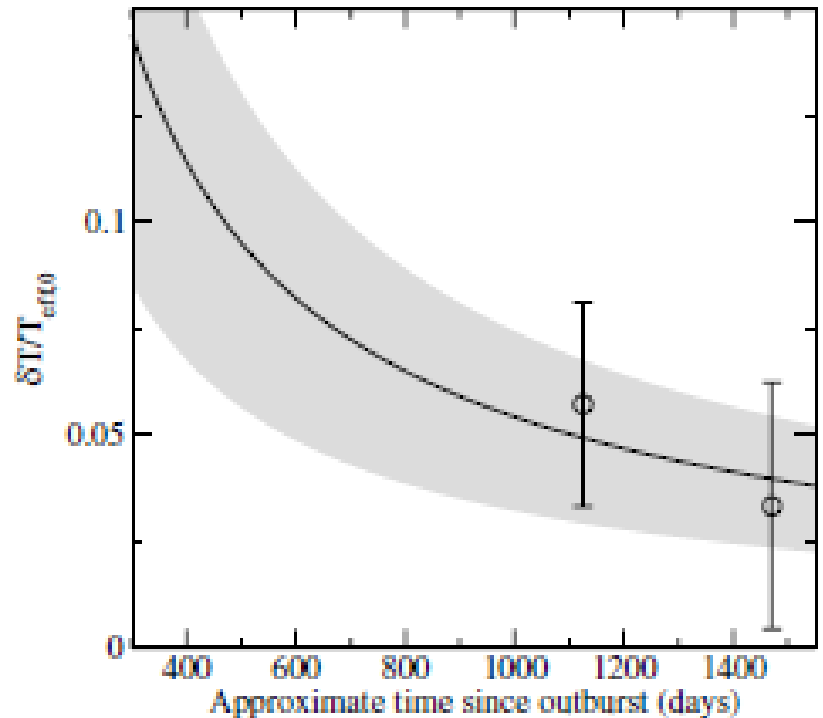
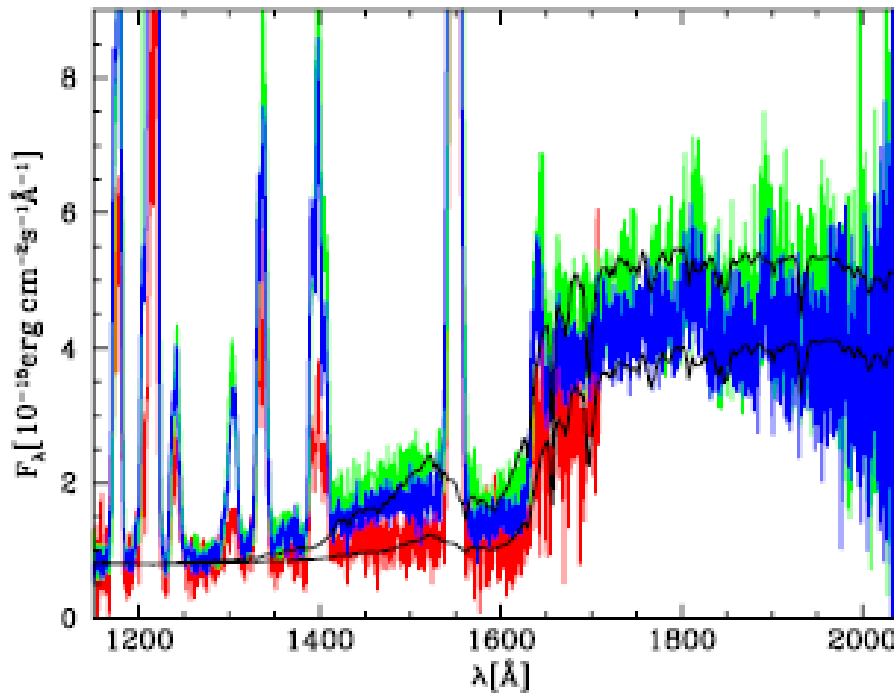
# SU UMa

- 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

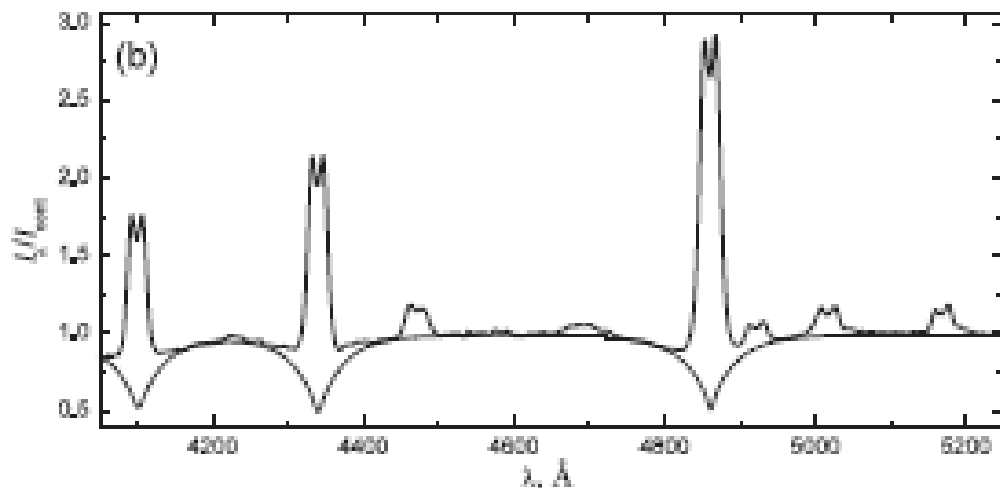
- Подгруппа типа SU UMa.
- Сверхвспышки с  $\Delta m_v = 6^m-9^m$  в течение  $14-22^h$ .
- Возвращение в начальное состояние происходит за время  $60-200$  суток.
- Перед и в момент максимума вспышки на кривой блеска появляются колебания с амплитудой  $\Delta m_v = 0.2-0.4^m$ , – сверхгорбы.
- $M_2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

# Исследование спектров КП в ультрафиолетовом диапазоне

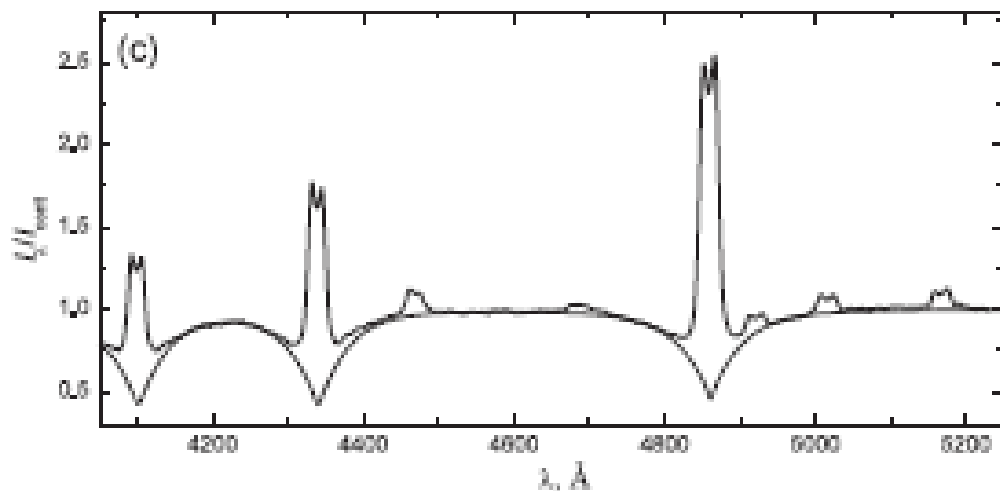


Paula Szkody, Anjum S. Mukadam, Boris T. Gänsicke<sup>2</sup>, Arne Henden<sup>3</sup>, (2013).

# Исследование оптических спектров карликовой Новой в низком состоянии



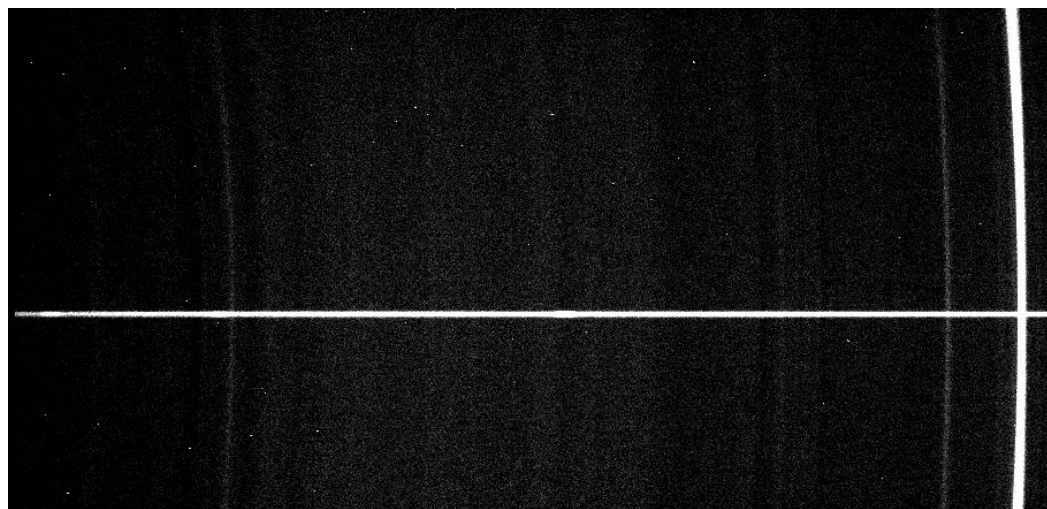
Сравнение наблюдаемых и  
теоретических спектров  
GSC02197–00886.



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

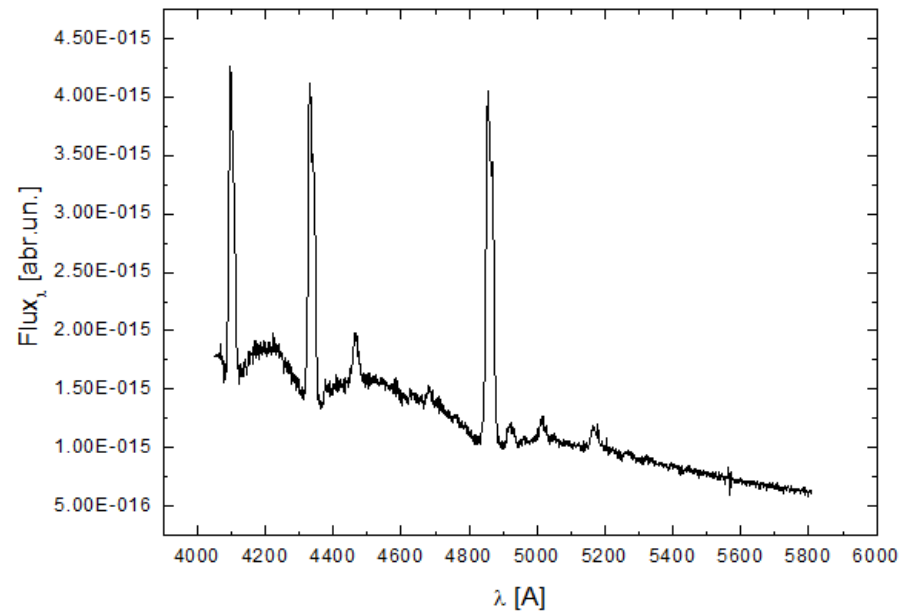
# Наблюдения

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.

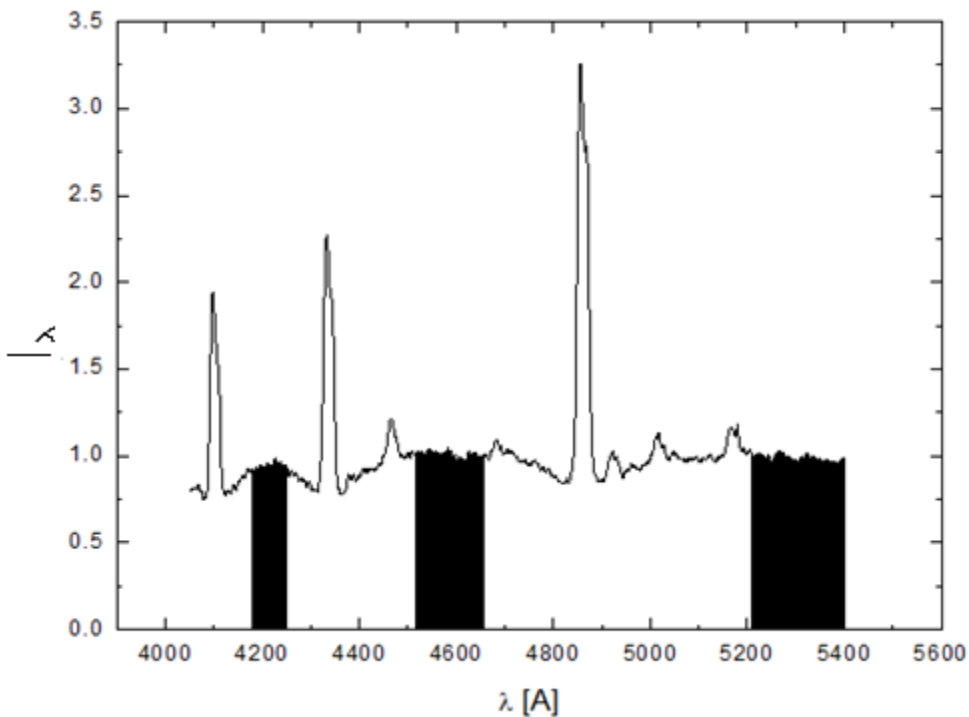


ПЗС-изображение объекта FL Psc

# 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:

$$T_{\text{eff}} = 10\,000\text{--}90\,000\text{K с шагом } \Delta T_{\text{eff}} = 2000\text{ K},$$
$$\log g = 6.5\text{--}9.5 \text{ с шагом } \Delta \log g = 0.25,$$

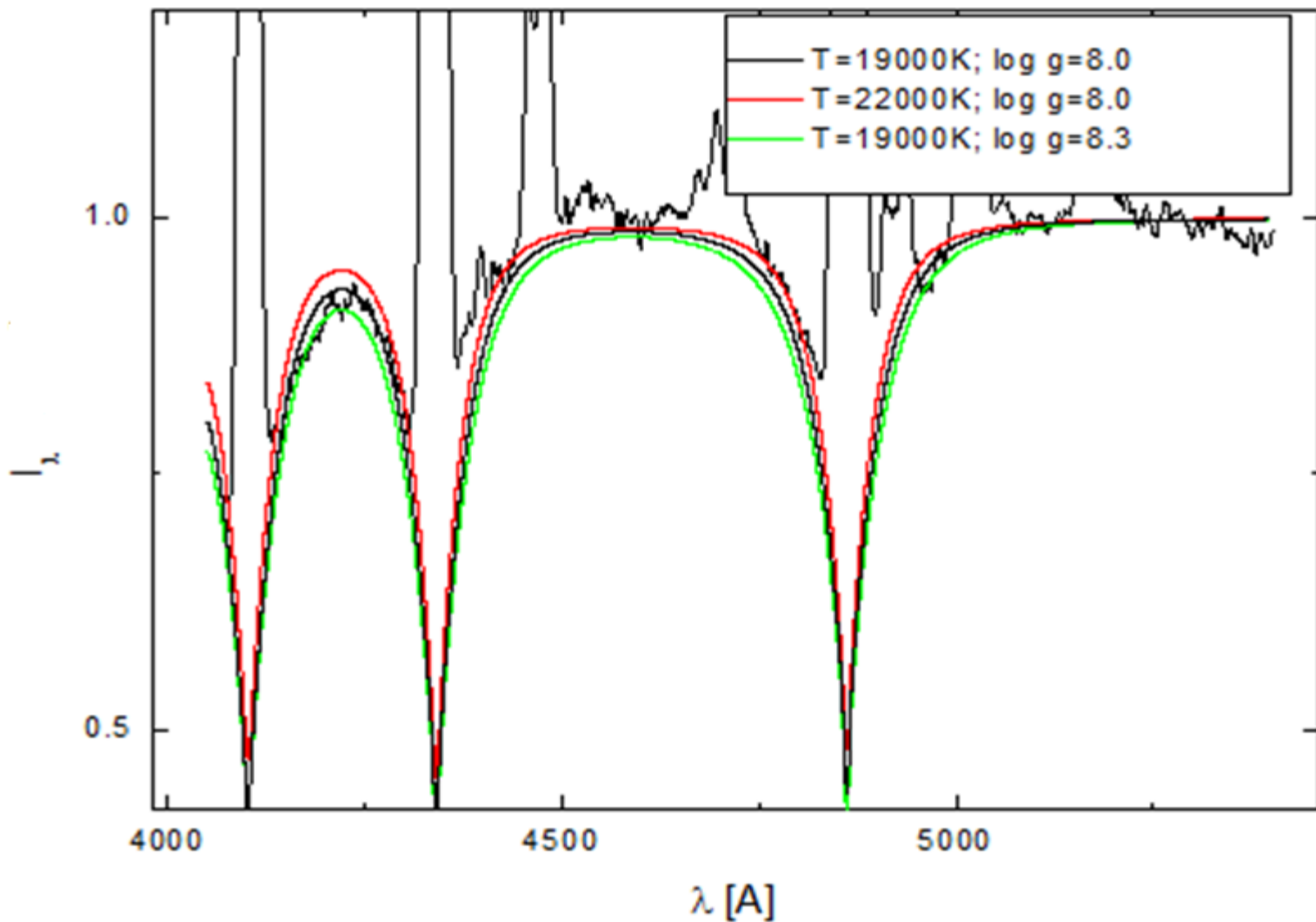
при  $[\text{He}/\text{H}] = -3 \text{ dex}$  и  $[\text{M}/\text{H}] = -5 \text{ dex}$  [1].

- Учитывались все источники непрерывного поглощения линии H $\beta$ , 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].

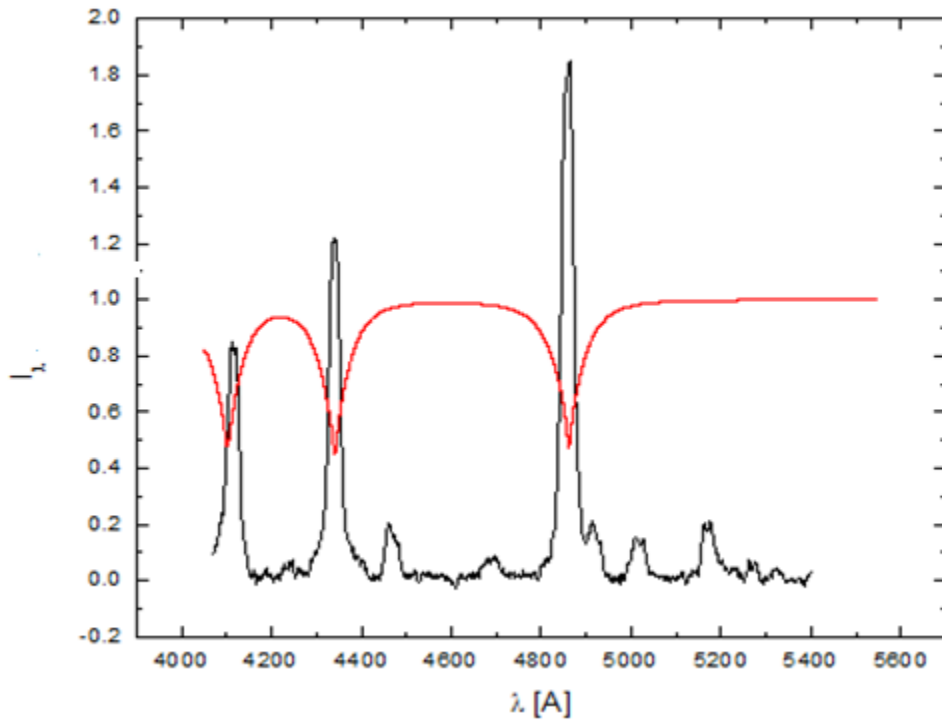
1) Piskunov N.E. SYNTH - a code for rapid spectral synthesis (1992).

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

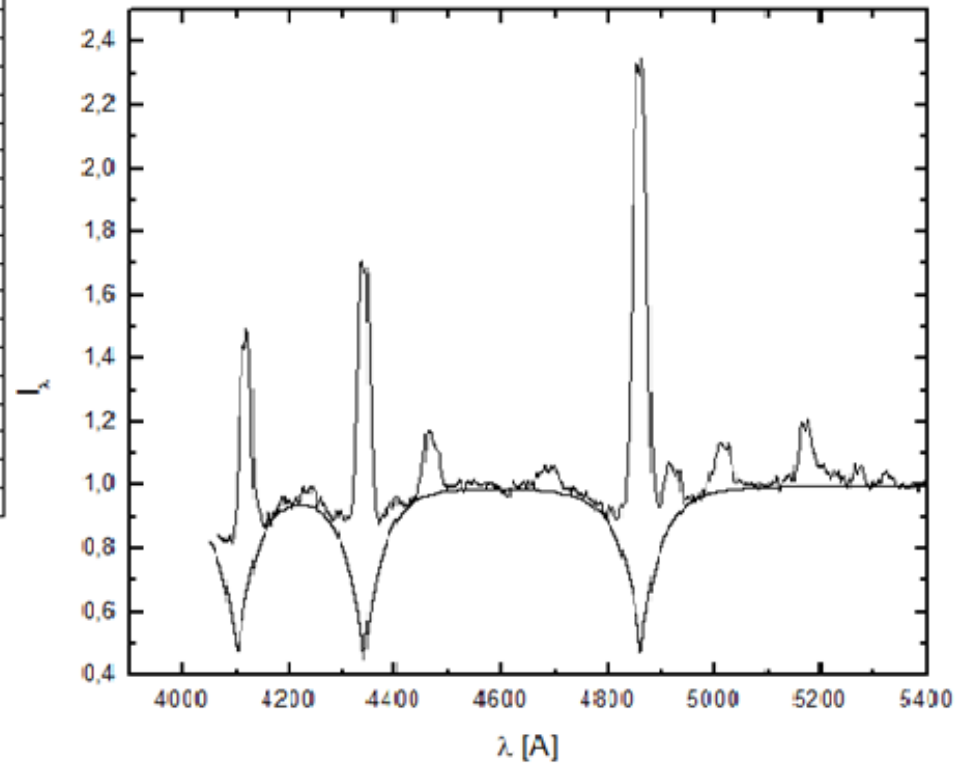
# Теоретические спектры, полученные путём варьирования параметров $T_{\text{eff}}$ и $\log g$



# Теоретические и наблюдаемые спектры



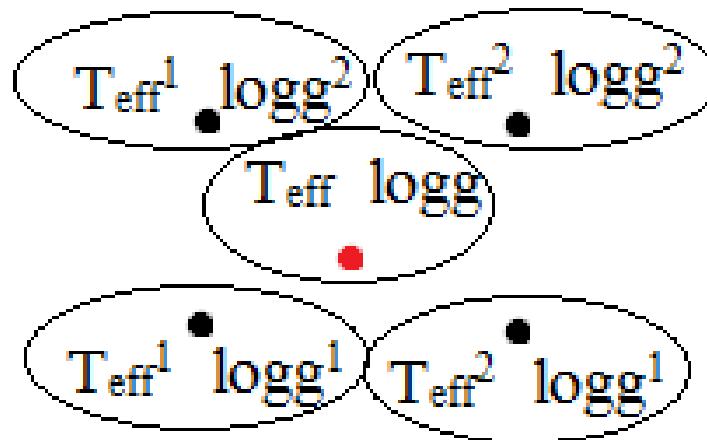
Спектр остаточной интенсивности системы TY Psc

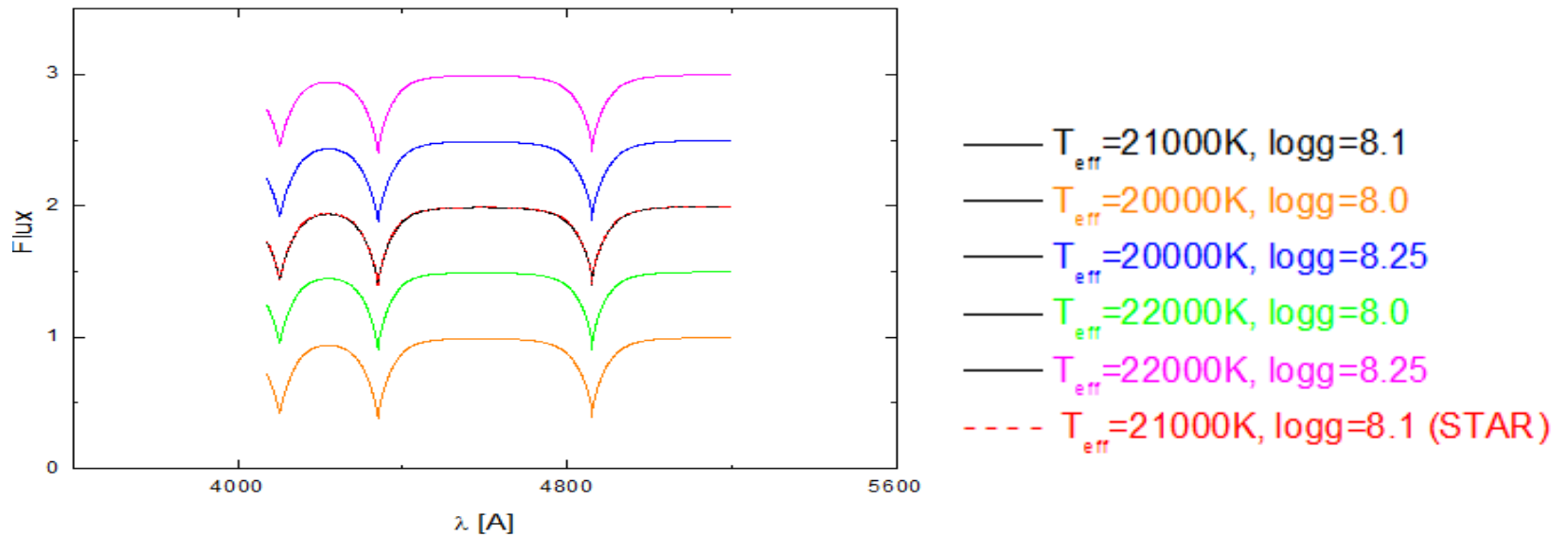


Теоретический и наблюдаемый спектр TY Psc

# 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  $\log g$ .

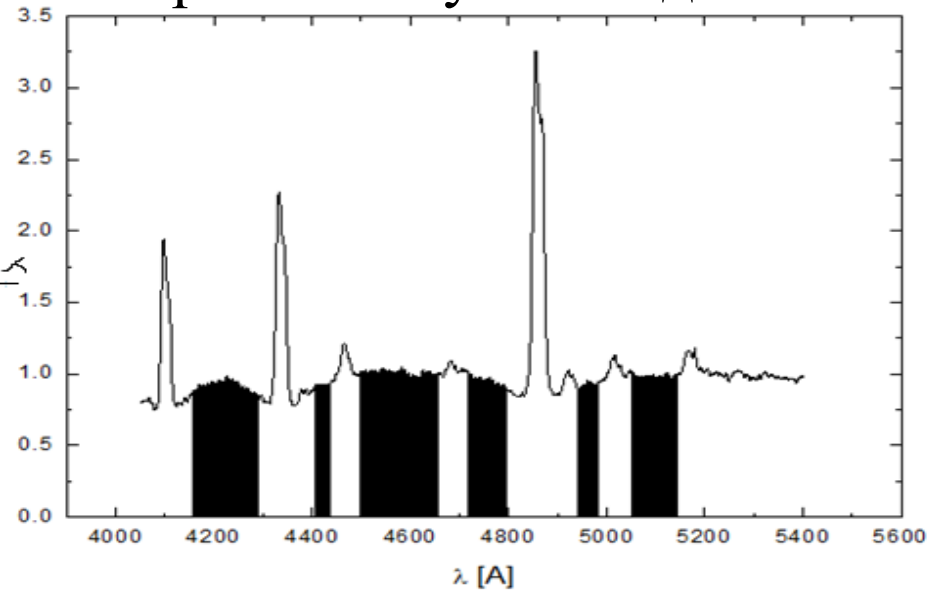




Интерполяция спектра с параметрами  $T_{\text{eff}} = 21000\text{K}$  и  $\log g = 8.1$  из 4-х спектров.

3. Интерполяция теоретического спектра на сетку наблюдаемых длин волн.

4. Определение интервала для анализа наблюдаемых спектров в НИЗКОМ СОСТОЯНИИ



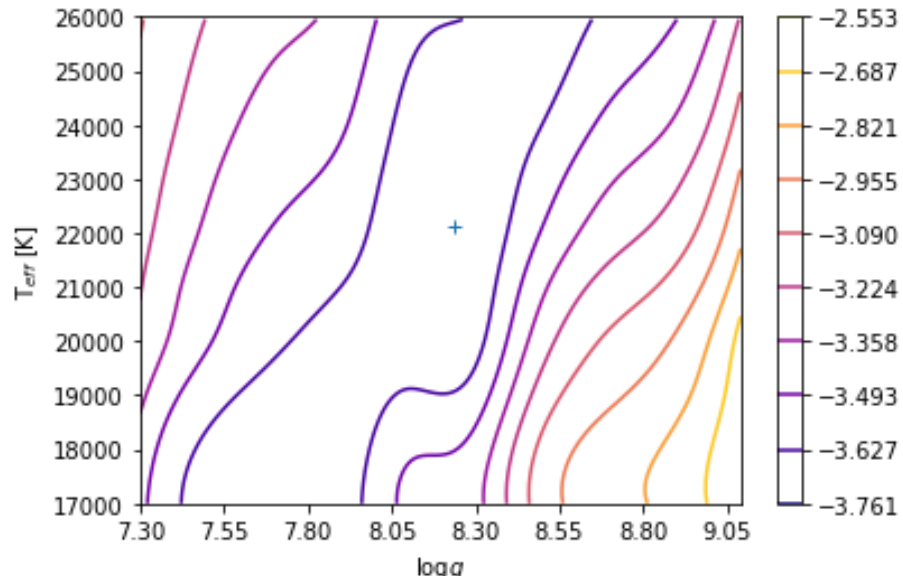
Диапазоны согласования теоретического и наблюдаемого спектра.

5. Рассчитывалось среднеквадратичное отклонение теоретического спектра от наблюдаемого

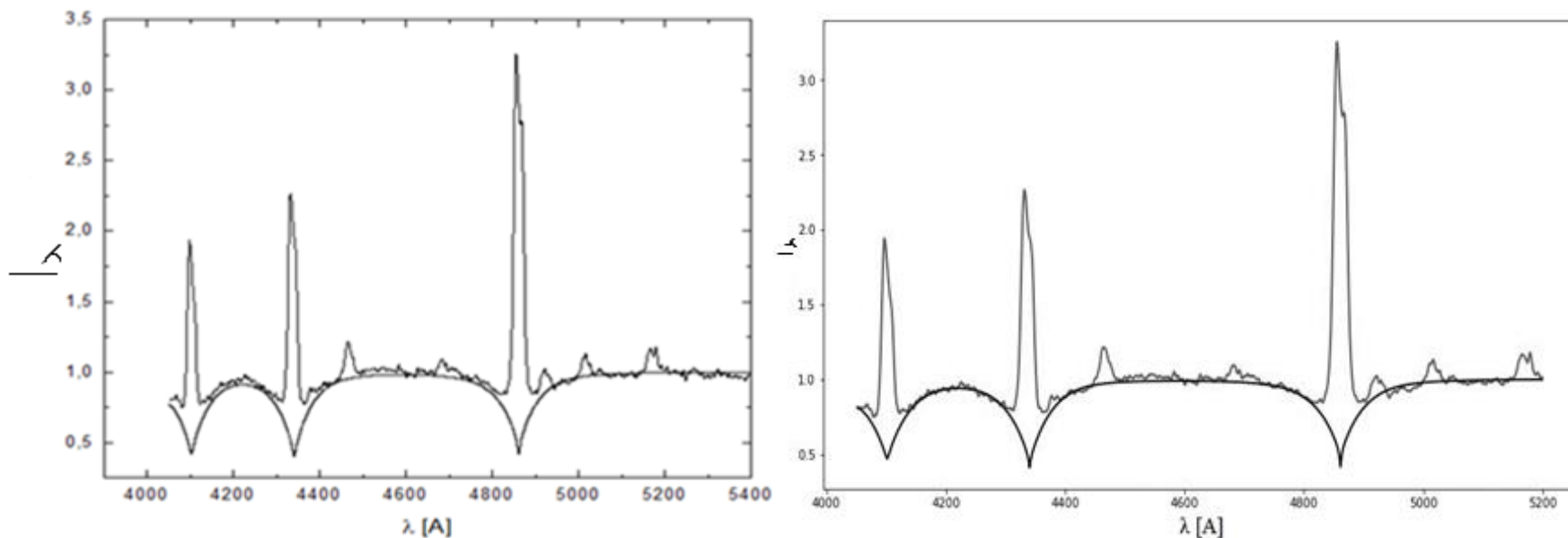
$$S = \sqrt{\sum_d \sum_{\lambda_i}^{\lambda_a} (F_{\lambda_{teor}} - F_{obs}(\lambda))^2 / N}$$

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 |



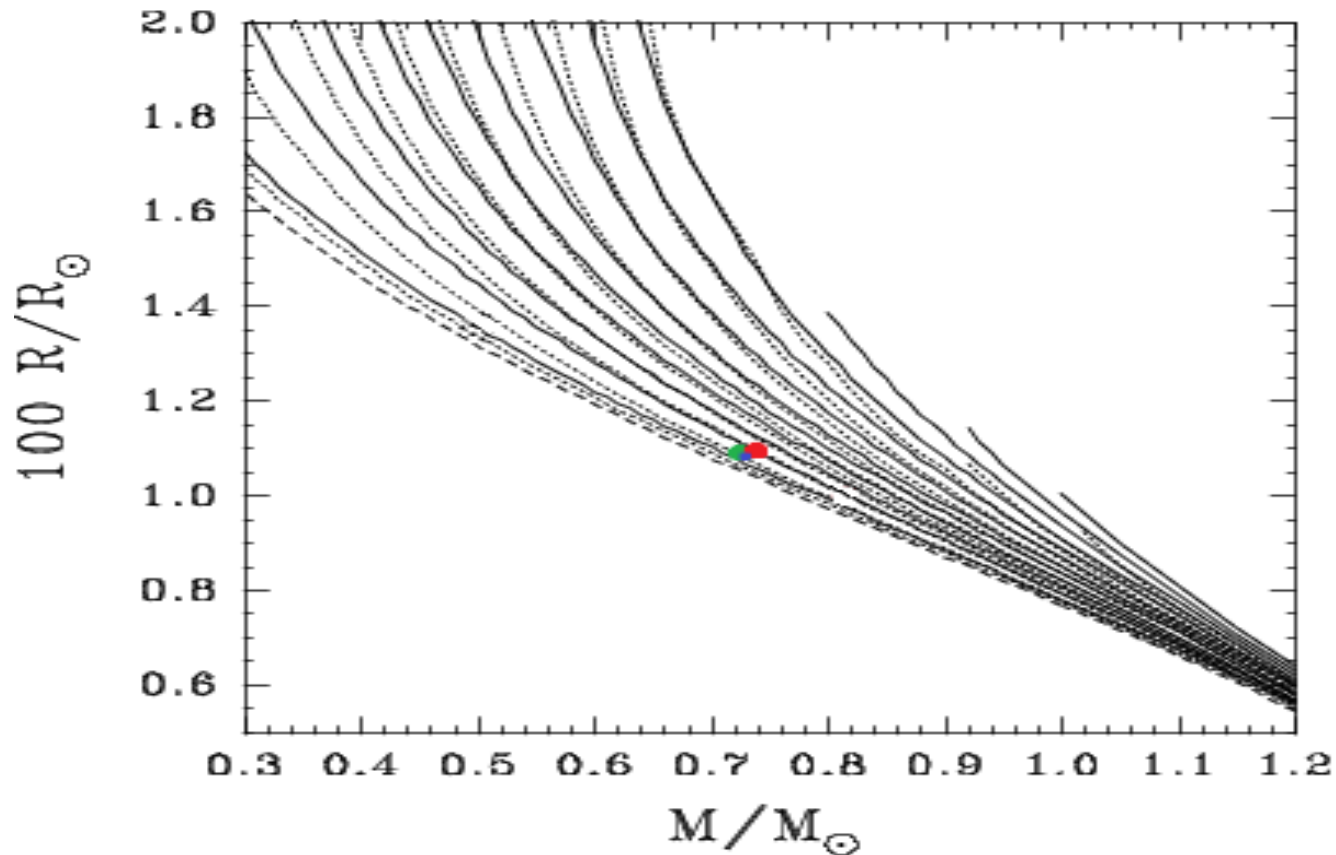
# Описание наблюдаемого спектра



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  $R_{L2}$

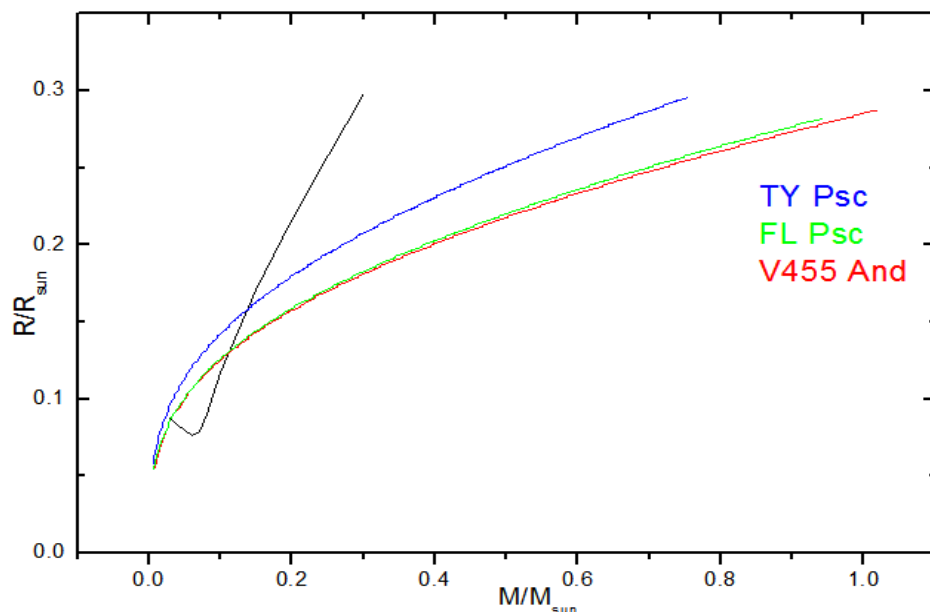
4) Вычислялись значения  $(R_2)$

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   |
|                | $A [R_\odot]$      | 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   |
|                | $A [R_\odot]$      | 0.674+/-0.002  | 0.587+/-0.002  | 0.582+/-0.001   |

# Определение угла наклона и функции масс системы

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

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

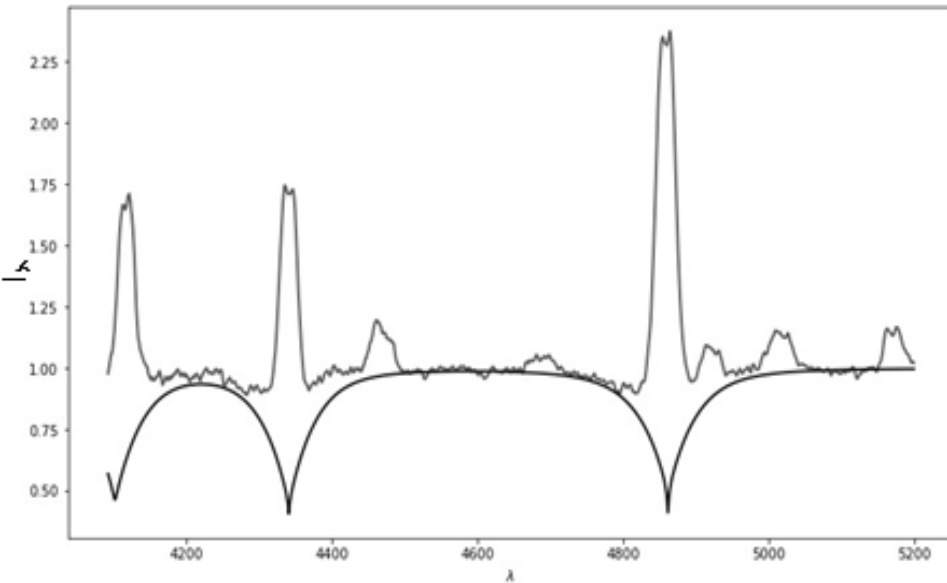
Для TY Psc:  $K=53$  км/с [1]; FL Psc  $K=46$  км/с [2] ; V455 And  $K=220$  км/с [3]

| 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                   |

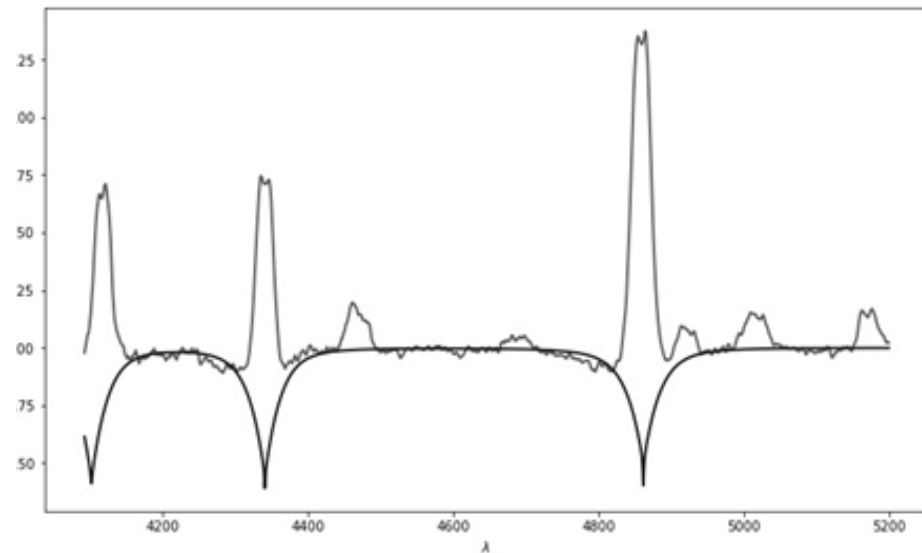
1. Papadaki C. (2009)
2. Templeton M.R. (2006)
3. Araujo-Betancor S. (2005)

# Возможные источники погрешности возникающие при анализе наблюдаемых спектров

## 1. Неправильная нормировка наблюдаемых спектров.

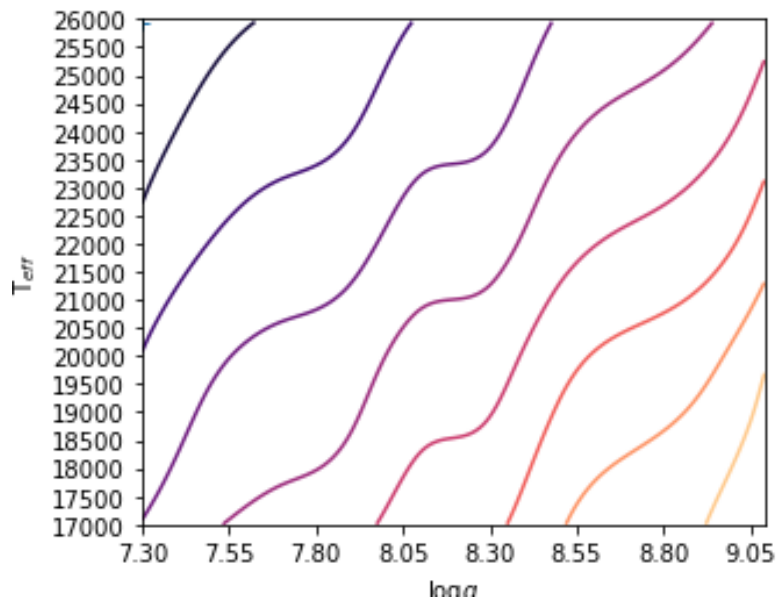


Неправильно нормированный наблюдаемый спектр TY Psc и теоретический спектр с параметрами  $T_{\text{eff}} = 22000\text{K}$  и  $\log g = 8.2$

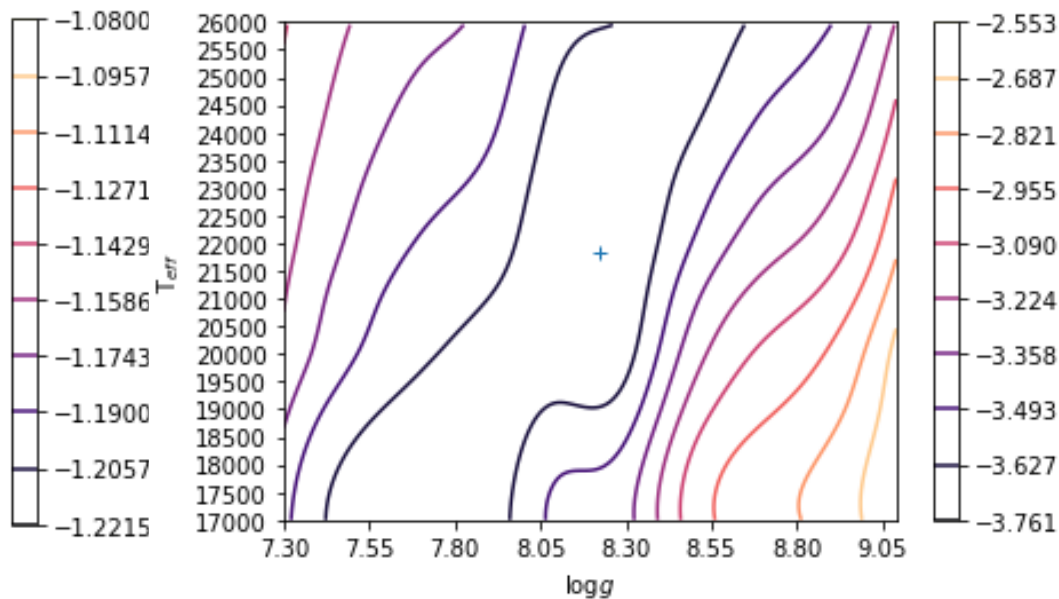


Неправильно нормированный наблюдаемый спектр TY Psc и теоретический спектр с параметрами  $T_{\text{eff}} = 20000\text{K}$  и  $\log g = 7.0$

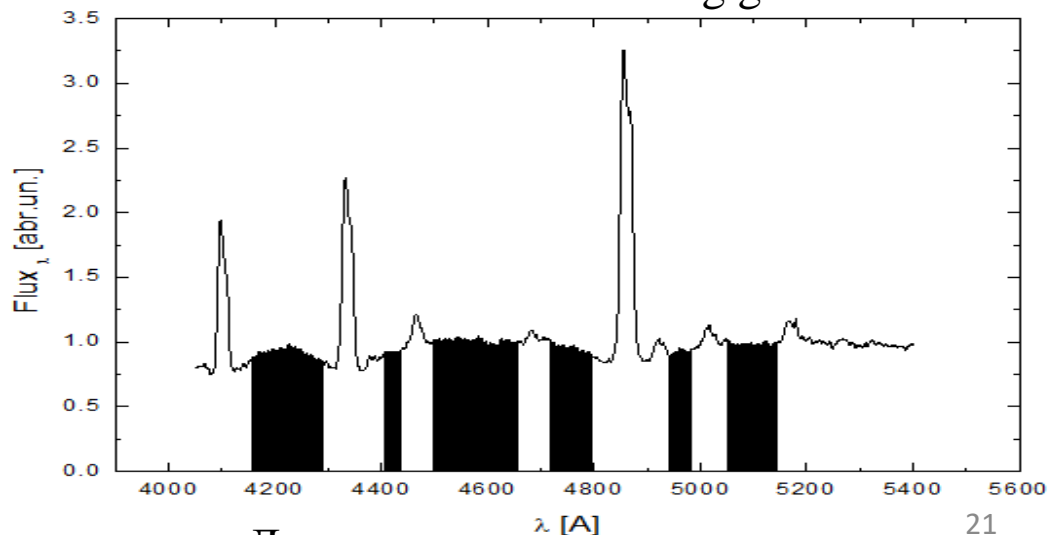
## 2. Не правильно выбранные диапазоны описания спектра.



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.

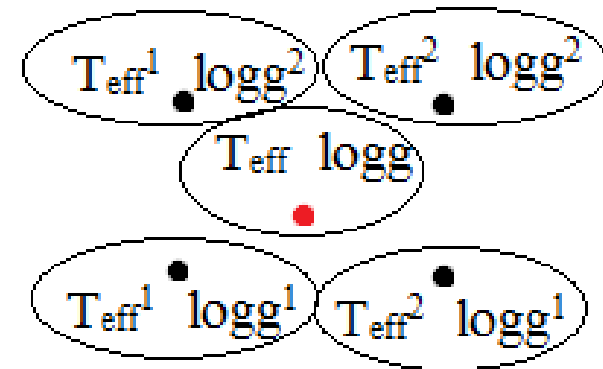
**Спасибо за внимание!**

| 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  $\log g$ .



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

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

# 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.