

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР И РАДИУСОВ МАГНИТНЫХ СР-ЗВЁЗД С УЧЁТОМ НЕОДНОРОДНОСТИ

С. Г. Алиев

© 2009

Шамахинская астрофизическая обсерватория им. Н. Туси НАН Азербайджана  
e-mail: sabir1938@rambler.ru

---

По спектрограммам высокого разрешения ( $4 \text{ \AA}/\text{мм}$ ) были выявлены наиболее неоднородные (пекулярные) и (относительно) нормальные области на поверхности различных (В4–F0) магнитных СР-звёзд. В этих областях по профилям линий  $H_\gamma$ ,  $H_\delta$  были определены эффективные температуры ( $T_{\text{эф}}$ ). Получено, что  $T_{\text{эф}}$  в пекулярных областях больше на 500–900 К, чем в нормальных частях атмосфер исследуемых СР-звёзд.

---

## ВВЕДЕНИЕ

Известно, что измерения радиусов  $R$  и эффективных температур  $T_{\text{эф}}$  звёзд тесно связаны между собой. Для определения этих фундаментальных параметров нормальных звёзд существуют различные методы, которые опираются на спектральные и фотометрические наблюдения. Наиболее распространённым способом определения радиусов нормальных звезд является измерение их эффективных температур. Однако, неравномерное распределение химических аномалий в атмосферах магнитных звёзд как по поверхности, так и, вероятно, по глубине, наличие сильного локального магнитного поля препятствуют определению эффективных температур и тем самым радиусов этих звезд.

По-видимому, степень проявления наблюдаемых пекулярных (аномальных) свойств в определенной мере зависит от величины магнитного поля, эффективной температуры звезд, взаимного расположения оси вращения и магнитной оси звезды и ориентации этих осей по отношению к наблюдателю.

Следовательно, из-за наличия локальных неоднородностей (пятнистости) на поверхности магнитных звезд, в зависимости от времени наблюдений для эффективных температур получаются различные значения. В связи с этим, мы постарались выявить наиболее пекулярные (пятнистые) области на поверхности звезды и определить фазы, соответствующие пекулярной ( $P$ ) и относительно нормальной ( $H$ ) части атмосферы.

Цель работы – выявить наиболее пекулярные (пятнистые) части атмосферы, определить эффективные температуры для этих областей на поверхности исследуемых магнитных звезд и определить по ним радиусы ( $R$ ) этих звезд. С этой целью нами были выбраны представители различных магнитных СР-звезд в спектральном диапазоне В4–F0. При отборе звезд основными критериями были: типы пекулярности, значения скорости осевого вращения, напряженность поверхностного магнитного поля. Основные сведения для отобранных магнитных СР-звезд приведены в таблице 1 (в 6-м столбце даются значения периодов спектральной и фотометрической переменности, для остальных столбцов пояснения не требуются).

## МАТЕРИАЛЫ НАБЛЮДЕНИЙ И ОБРАБОТКА

Для решения поставленной задачи были использованы материалы спектральных наблюдений, проводимых на 2-м телескопе ШАО, которые были начаты в 1970 г. К настоящему времени было получено большое количество высококачественных спектров ( $4 \text{ \AA}/\text{мм}$ ) в двух вариантах: а) фотографические; б) ПЗС-спектры. Полученные материалы охватывают полный период для каждой звезды.

Из-за неоднородности поверхности магнитных СР-звезд на некоторых фазах наблюдаемые профили пекулярных элементов разделяются на компоненты. Несмотря на это, во всех спектрограммах были измерены полные (суммарные) эквивалентные ширины  $W_\lambda$  (средние по всему диску звезды) для линий водорода и основных пекулярных элементов (по типу пекулярности) (Si, Sr, Cr, Eu, Ca и т.д.). Одновременно измерены и лучевые скорости  $V_r$  по центру тяжести спектральных линий пекулярных элементов.

Построены фазовые зависимости величин  $W_\lambda$  для линий водородных и пекулярных элементов. Далее были построены фазовые кривые и напряженности магнитного поля ( $B_e$ ), и блеска исследуемых звезд.

Таблица 1.

| № п/п | HD     | $m_v$ | Sp<br>МК | Тип        | $P$<br>(год) | $V \sin i$<br>(км/с) | $B_e$<br>(Гс) |
|-------|--------|-------|----------|------------|--------------|----------------------|---------------|
| 1     | 19832  | 5.60  | B8p      | Si 4200    | 0.728        | 142                  | -350/+550     |
| 2     | 34452  | 5.40  | A0p      | Si 4200    | 2.466        | 85                   | +550/-600     |
| 3     | 40312  | 2.64  | B9p      | Si         | 3.619        | 49                   | +270/-370     |
| 4     | 65339  | 6.00  | A2p      | Sr, Cr, Eu | 8.020        | 15                   | +4200/-5400   |
| 5     | 118662 | 5.25  | A0p      | Cr, Sr     | 5.080        | 14                   | -1100/+450    |
| 6     | 108945 | 5.49  | A2p      | Sr, Eu     | 2.004        | 64                   | 0/-400        |
| 7     | 112185 | 1.70  | A0p      | Cr, Eu     | 5.090        | 25                   | -             |
| 8     | 112413 | 2.90  | A0p      | Cr, Eu, Sr | 5.470        | 29                   | -1400/+1600   |
| 9     | 118022 | 4.93  | A1p      | Cr, Sr     | 3.722        | 14                   | -130/-800     |
| 10    | 124224 | 4.90  | B9p      | Si 4200    | 0.521        | 119                  | -600/+1000    |
| 11    | 133029 | 6.16  | B9p      | Si 4200    | 0.741        | 25                   | +4060/-1150   |
| 12    | 137909 | 3.72  | F0p      | Sr, Eu     | 18.49        | 18                   | +650/-430     |
| 13    | 140160 | 5.26  | A0p      | Sr         | 1.596        | 64                   | +760/-1840    |
| 14    | 140728 | 5.48  | B9p      | Si, Cr     | 1.296        | 70                   | +310/-1110    |
| 15    | 148112 | 4.56  | A1p      | Cr, Sr, Eu | 3.043        | 35                   | -250/-100     |
| 16    | 184905 | 6.50  | B9p      | Si 4200    | 1.845        | 51                   | ~3000         |
| 17    | 189849 | 4.70  | A7m      | Cr, Sr     | 14.00        | 20                   | +420/-630     |
| 18    | 193722 | 6.15  | A0p      | Si 4200    | 1.134        | 42                   | $\pm \sim$    |
| 19    | 196502 | 5.20  | A2p      | Sr, Eu     | 20.27        | 3                    | -700/+200     |
| 20    | 201601 | 4.76  | F0p      | Sr, Eu     | 78           | 13                   | +200/+880     |
| 21    | 220825 | 4.96  | A0p      | Sr, Cr     | 0.583        | 48                   | -450/-200     |
| 22    | 224801 | 6.25  | B9p      | Si, Cr     | 3.739        | 37                   | +2300 ~       |

Сравнения фазовых зависимостей величин  $W_\lambda$ ,  $B_e$  и блеска показывают, что фазы главных максимумов этих кривых совпадают (в пределах точности определения  $\Delta\varphi = \pm 0.06$ ). При этом нулевая лучевая скорость ( $V_r = 0$  км/с) соответствует фазам максимальных и минимальных значений рассматриваемых величин. Согласно теории наклонного ротатора, фаза главного максимума соответствует наиболее пекулярной части на поверхности звезды [1].

Таким образом, для каждой звезды были определены фазы, соответствующие наиболее пекулярным (максимум –  $P$ ) и относительно нормальным (минимум –  $H$ ) областям на поверхности звезды. Полученные результаты приведены в таблице 2, где последовательно приводятся:

- 1 – номер звезды по HD;
- 2 – спектральный класс Sp(K), найденный по линиям Fe II и Ti II из [2];
- 3–4 – фазы, соответствующие пекулярной ( $P$ ) и нормальной ( $H$ ) части на поверхности звезды;
- 5–6 – эффективные температуры  $T_{\text{эф}}$  для пекулярной и нормальной области атмосферы, найденные по контурам водородных линий ( $H_\gamma$ ,  $H_\delta$ );
- 7 – разницы температур  $\Delta T = T_e(P) - T_e(H)$ ;
- 8 – эффективные температуры [3];
- 9 – радиусы, найденные по величине  $T_{\text{эф}}(H)$  для нормальной области на поверхности звезд.

С целью определения эффективных температур в спектрах каждой звезды для фаз максимума ( $P$ ) и минимума ( $H$ ) отобраны профили линий  $H_\gamma$  и  $H_\delta$ . Проведены сравнения наблюдаемых и теоретических профилей Куруча [4]. В результате сопоставления профилей были определены величины  $T_{\text{эф}}(P, H)$  для фаз максимума и минимума каждой звезды. Найденные значения  $T_{\text{эф}}$  приведены в столбцах 5 и 6 таблицы 2.

С целью сравнения найденных нами эффективных температур с данными других авторов, в столбце 8 таблицы 2 приводятся значения величин  $T_{\text{эф}}$  по [3]. Из этой таблицы видно, что величина  $T_{\text{эф}}$  для нормальной части атмосферы исследуемых звезд почти совпадает с результатом [3] в пределах точности измерений ( $\Delta T = \pm 300$  К).

Исходя из этого, при определении радиусов звезд были использованы значения  $T_{\text{эф}}$ , полученные для нормальной области поверхности звезд.

Для определения радиусов ( $R$ ) исследуемых звезд использована известная формула:

$$\lg R = 8.46 - 2 \lg T_e - 0.2 M_b. \quad (1)$$

При этом болометрические поправки (BC) брали из [5]. Результаты определения радиусов приведены в

Таблица 2.

| HD     | Sp(K) | $\varphi$ |      | $T_{\text{эф}}$ |       | $\Delta T$ | $T_{\text{эф}} (\Gamma)$ | $R$  |
|--------|-------|-----------|------|-----------------|-------|------------|--------------------------|------|
|        |       | $P$       | $H$  | $P$             | $H$   |            |                          |      |
| 19832  | B7.30 | 0.30      | 0.00 | 12800           | 12400 | 400        | 12510                    | 2.01 |
| 34452  | –     | 0.65      | 0.00 | 15500           | 15000 | 500        | 15650                    | 4.40 |
| 40312  | B9.10 | 0.55      | 0.30 | 9800            | 8800  | 500        | 9950                     | 3.10 |
| 65339  | –     | 0.20      | 0.50 | 9000            | 8200  | 800        | 8400                     | 2.33 |
| 108662 | B9.35 | 0.00      | 0.45 | 10500           | 9800  | 700        | 10000                    | 1.96 |
| 108945 | A2.45 | 0.00      | 0.70 | 9100            | 8400  | 700        | 8950                     | 2.33 |
| 112185 | A1.05 | 0.35      | 0.60 | 9500            | 8800  | 700        | 8900                     | 2.25 |
| 112413 | B7.90 | 0.40      | 0.70 | 12500           | 11800 | 700        | 11900                    | 2.50 |
| 118022 | A0.00 | –         | –    | 9600            | 8200  | 1400       | 9450                     | 2.30 |
| 124224 | B7.20 | 0.70      | 0.20 | 12800           | 12200 | 600        | 12400                    | 2.37 |
| 133029 | –     | 0.55      | 0.00 | 11500           | 10600 | 900        | 11000                    | 2.24 |
| 137909 | A7.70 | 0.10      | 0.60 | 7800            | 7000  | 800        | 7880                     | 2.01 |
| 140160 | –     | 0.40      | 0.00 | 9500            | 8500  | 1000       | 9100                     | 2.61 |
| 140728 | –     | 0.00      | 0.50 | 10200           | 9000  | 1200       | –                        | 2.01 |
| 148112 | A0.00 | –         | –    | 9700            | 9000  | 700        | 9400                     | 2.30 |
| 184905 | B8.20 | 0.70      | 0.35 | 13000           | 12500 | 500        | 10100                    | 3.01 |
| 189849 | –     | 0.55      | 0.00 | 7900            | 7000  | 900        | 8100                     | 2.68 |
| 193722 | –     | 0.65      | 0.15 | 12800           | 12200 | 600        | 11700                    | 2.48 |
| 196502 | A2.90 | 0.05      | 0.70 | 8900            | 8100  | 800        | 8900                     | 2.46 |
| 201601 | A8.65 | max       | min  | 7800            | 7000  | 800        | 7600                     | 2.70 |
| 220825 | B9.90 | 0.55      | 0.25 | 10500           | 9400  | 1100       | 9600                     | 2.00 |
| 224801 | B7.60 | 0.00      | 0.30 | 12400           | 11900 | 500        | 11750                    | 2.01 |

столбце 9 таблицы 2. Сопоставления с данными других авторов показывают, что полученные значения величин  $R$ , хорошо согласуются с результатами Абта [6]. Большие расхождения обнаруживаются для звезд HD 34452, HD 40312.

По-видимому, это связано с тем, что в работе [6] не учитывалась неоднородность для исследуемых магнитных CP-звезд.

## ВЫВОДЫ

1. Фазы максимумов интенсивности основных пекулярных элементов (за исключением хрома) магнитного поля и блеска совпадают в пределах точности определения  $\Delta\varphi = 0.06$ .
2. Для аномальных и нормальных областей разница температур для магнитных звезд В4–А0 составляет примерно 500 К, а для поздних (А2–F0) МСР-звезд  $\Delta T \approx 900$  К.
3. Радиусы, найденные по величинам  $T_{\text{эф}}(H)$ , лучше соответствуют значениям, полученным другими способами.

- [1] Алиев С. Г., Зейналов С. Г. Изучение пятнистой структуры атмосферы у магнитной CP-звезды 56 Ari // Изв. НАН Азербайджана. – 2006. – № 2. – С. 222–228.
- [2] Копылов И. М. Количественные спектральные индексы пекулярности CP-звезд верхней части главной последовательности // Астрофиз. исследование (Изв. САО). – 1987. – 24. – С. 44–67.
- [3] Глаголевский Ю. В., Чунакова Н. М. Об эффективных температурах химически пекулярных звезд // Астрофиз. исследование (Изв. САО). – 1986. – 22. – С. 39–53.
- [4] Kurucz R. L. Model atmospheres for G, F, A, B and O stars // Astrophys. J. Suppl. Ser. – 1979. – 40. – P. 1–340.
- [5] Страйжис В. Многоцветная фотометрия звезд. – Вильнюс: Мокслас, 1977. – 310 с.
- [6] Abt H. A. Are stellar rotational axes distributed randomly? // Astron. J. – 2001. – 122. – P. 2008–2012.