

УДК 524.31

Химический состав и фундаментальные параметры F-, G-, K-сверхгигантов и классических цефеид: новые результаты

В.В. Ковтюх, С.И. Белик, М.П. Ясинская, Ф.А. Чехонадский

Одесская Астрономическая Обсерватория, 65014, Одесса, Украина

Сверхгиганты спектральных классов F, G, K, в число которых входят и классические цефеиды, обладая высокой светимостью, позволяют проводить исследование галактических градиентов химического состава и изучать распределение металличности в плоскости Галактики (Ковтюх и др., 2005; Люк и др., 2006). Обычно для решения всех этих и подобных задач используются классические цефеиды – благодаря известной зависимости период-светимость и надежно определенной шкале нормальных цветов. Использование для этих целей непременных сверхгигантов затруднительно из-за недостаточной точности методов определения светимостей и избытков цвета этих объектов. Однако сейчас ситуация изменилась. В последнее время с помощью использования спектральных критериев удалось на порядок повысить точность определения эффективных температур T_{eff} карликов (Ковтюх и др., 2003), гигантов (Ковтюх и др., 2006) и сверхгигантов (Ковтюх, 2007) поздних спектральных классов. До этого температуры сверхгигантов определялись с крайне низкой точностью – оценки температур одной звезды по разным данным нередко различались на 300–400 K и более. Именно высокая точность определения температур сверхгигантов (порядка 10–30 K) и позволила выявить тонкие эффекты распределения металличности в плоскости Галактики и нелинейность галактических градиентов для ряда химических элементов (Ковтюх и др., 2005; Люк и др., 2006).

В большинстве работ по определению межзвездного поглощения используется показатель цвета $(B-V)$, тогда нормальный показатель цвета, не искаженный межзвездным поглощением, $(B-V)_0 = (B-V) - E(B-V)$, где $E(B-V)$ – избыток показателя цвета, определяющий полное межзвездное поглощение в V-полосе $A_V = 3.3 E(B-V)$.

Нами поставлена цель определять избытки цвета не из фотометрических данных, что нельзя сделать достаточно надежно из-за чувствительности $(B-V)$ к металличности и другим параметрам, а использовать для этого параметры атмосфер, надежно определенные спектральными методами.

Показатель цвета $(B-V)_0$ зависит не только от температуры, но и от других параметров звезды: металличности $[Fe/H]$, ускорения силы тяжести $\lg g$, микротурбулентной скорости V_t и, возможно, от других факторов. Поэтому для надежного определения избытков цвета необходимо знать предельно точные значения этих параметров для возможно большего числа объектов. После этого можно определить аналитическую зависимость $(B-V)_0$ от T_{eff} , $[Fe/H]$, $\lg g$, V_t и использовать спектроскопически определенные параметры звезды для определения $(B-V)_0$.

Спектры сверхгигантов были получены на 1.93-м телескопе обсерватории Верхнего Прованса (ОНР, Франция), оснащенный эшелле-спектрометром ELODIE (Кац и др., 1998). Разрешающая способность спектрометра – 42 000, участок длин волн – 440.0–680.0 нм, отношение сигнала к шуму – 100–300.

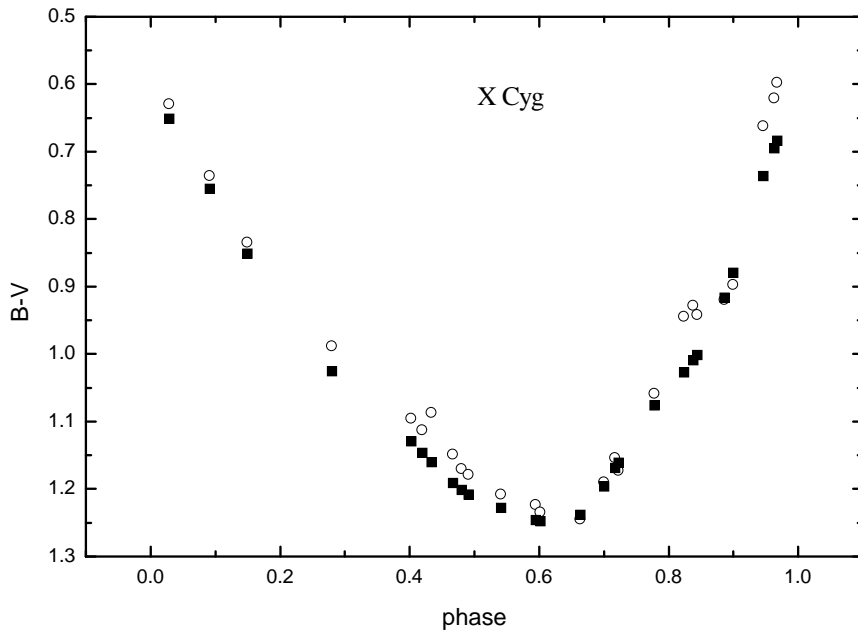


Рис. 1. Сравнение вычисленных (кружки) нормальных показателей цвета с наблюдаемыми (квадраты) для классической цефеиды X Cyg в течение цикла пульсаций

Значения эффективных температур T_{eff} определялись с использованием метода (Ковтюх, 2007). Этот спектроскопический метод основан на использовании отношений глубин избранных пар спектральных линий, наиболее чувствительных к температуре. Благодаря большому числу калибровок (131) этот метод обеспечивает внутреннюю точность определения T_{eff} порядка 10–30 К (ошибка среднего). Для определения глубин и эквивалентных глубин линий использовался пакет программ DECH20 (Галазутдинов, 1992).

Величина микротурбулентной скорости V_t определена из условия независимости содержания ионизированного железа Fe II, определяемого по набору линий, от их эквивалентных ширин (Ковтюх, Андриевский, 1999). Это вызвано тем, что линии Fe I сильно подвержены неЛТР-эффектам (Любимков, 1985). В то же время линии Fe II практически свободны от этого недостатка (Тевенин, Идиарт, 1999).

Ускорение силы тяжести $\lg g$ определено из условия ионизационного равновесия для атомов Fe I и Fe II. При определении микротурбулентной скорости V_t по линиям Fe II содержание Fe I, из-за влияния неЛТР-эффектов, становится сильно зависимым от эквивалентной ширины EW. Чем сильнее линия, тем в среднем больший дефицит она показывает по отношению к слабым линиям. Поэтому содержание Fe I определялось путем линейной интерполяции на линию с $EW = 0$ (Ковтюх, Андриевский, 1999).

Такой модифицированный подход позволяет в значительной степени нивелировать неЛТР-эффекты для железа и дает возможность более точно определять параметры атмосфер и химический состав (Ковтюх, Андриевский, 1999). Нами использовались солнечные силы осцилляторов (Ковтюх, Андриевский, 1999) и модели Куруца (Куруц, 1992). Так были определены параметры атмосфер 68 непременных сверхгигантов. По аналогичной методике были определены параметры 26 классических цефеид в 302 фазах блеска (Андриевский и др., 2005; Ковтюх и др., 2005). Таким

образом, мы имеем 370 определений параметров сверхгигантов, сделанных в одной системе и по единой методике.

Этим 370 определениям параметров надо сопоставить соответствующие нормальные показатели цвета. В случае цефеид это сделать нетрудно, так как избытки цвета для них определялись неоднократно и известны с достаточно большой точностью, мы использовали последнюю работу (Ланей, Калдвел, 2007). Наблюдаемые показатели цвета цефеид взяты из обширной базы наблюдений цефеид (Бердников, 2007). По ним вначале строилась кривая изменения $B-V$ с фазой изменения блеска, потом эта кривая аппроксимировалась Фурье-гармониками 3–7-й степени для нахождения $B-V$ в тех фазах, для которых у нас имелись спектральные наблюдения. Для непременных сверхгигантов избытки цвета, определенные по женеvской фотометрии, взяты из (Берсье, 1996). На основании данных о 302 мультифазных определениях параметров атмосфер классических цефеид и 68 сверхгигантов была составлена матрица данных для определения полиномиальной зависимости методом наименьших квадратов. Первоначально задавался полином 7-й степени от $\lg T_{eff}$, линейные и вторые степени для $\lg g$, V_t , $[Fe/H]$, а также попарные множители всех переменных. После стандартного анализа, исключая члены с наименьшей корреляцией, мы окончательно получили оптимальный вид полинома:

$$(B - V)_0 = 57.984 - 10.3587(\log T_{eff})^2 + 1.67572(\log T_{eff})^3 - \\ - 3.356 \log g + 0.0321 V_t + 0.2615 [Fe/H] + 0.8833(\log g)(\log T_{eff})$$

При вычислениях был получен коэффициент множественной корреляции равный $R = 0.9986$. Ошибка определения $(B-V)_0$ равна $0.^m05$. Было исключено несколько точек, вылетевших за 3 сигмы. Анализ показал, что исключенные точки относятся к восходящей ветви кривых блеска цефеид, для которых возможны достаточно большие ошибки определения всех параметров.

Полученная нами ошибка $0.^m05$ сопоставима с ошибкой определения избытков цвета для сверхгигантов, поэтому можно сделать важный вывод об отсутствии других факторов, помимо учтенных, которые существенно влияют на показатели цвета. Эта ошибка полностью отражает неопределенность исходных параметров, в основном в определении избытков цвета. На рис. 1 мы даем сравнение вычисленных и наблюдаемых показателей цвета 16-дневной цефеиды X Cyg. Систематическая разница вызвана неточностью $E(B-V)$.

Следующим этапом работы будет создание методики высокоточного определения светимостей непременных сверхгигантов, что позволит использовать их, наравне с цефеидами, для анализа галактического распределения химических элементов на всей доступной оптическим телескопам части Галактики, а это позволит существенно дополнить картину, получаемую сейчас только по цефеидам.

Литература

- Андриевский С.М. и др. (Andrievsky S.M., Luck R.E., Kovtyukh, V.V.) // *Astron. J.* 2005. V. 130. №. 4. P. 1880.
- Бердников Л.Н. (Berdnikov L.N.) // 2007. <http://www.sai.msu.ru/groups/cluster/cep/phe>
- Берсье Д. (Bersier D.) // *Astron. Astrophys.* 1996. V. 308. №. 2. P. 514.
- Галазутдинов Г.А. // Препринт САО РАН. Ниж. Архыз. 1992. №. 92. С. 52.
- Гревис Н. и др. (Grevesse N., Noels A., Sauval A.J.) // *Standard Abundances. Conference in College Park.* 1996. V. 99. P. 117.
- Кац Д. и др. (Katz D. Soubiran C., Cayrel R.) // *Astron. Astrophys.* 1998. V. 338. №. 1. P. 151.
- Ковтюх В.В. (Kovtyukh V.V.) // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 2007. V. 378. №. 2. P. 617.
- Ковтюх В.В. и др. (Kovtyukh V.V., Andrievsky S.M., Belik S.I., Luck R.E.) // *Astron. J.* 2005. V. 129. №. 2. P. 433.
- Ковтюх В.В. и др. (Kovtyukh V.V., Wallerstein G., Andrievsky S.M.) // *Publ. Astron. Soc. Pacif.* 2005. V. 117. №. 6. P. 1173.

- Ковтюх В.В., Андриевский С.М. (Kovtyukh V.V., Andrievsky S.M.) // *Astron. Astrophys.* 1999. V. 351. P. 597.
- Ковтюх и др. (Kovtyukh V.V., Soubiran C., Bienayme O., Mishenina T.V., Belik S.I.) // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 2006. V. 371. №. 3. P. 879.
- Ковтюх и др. (Kovtyukh V.V., Soubiran C., Belik S.I., Gorlova N.I.) // *Astron. Astrophys.* 2003. V. 411. №. 2. P. 559.
- Куруц Р.Л. (Kurucz R.L.) // *The stellar populations of galaxies . Symp. №. 149.* Dordrecht: Kluwer. 1992. P. 225.
- Ланей К.Д., Калдвел Дж.А.Р. (Laney C.D., Caldwell J.A.R.) // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 2007. V. 377. №. 1. P. 147.
- Любимков Л.С. и др. (Lyubimkov L.S., Boyarchuk A.A., Sakhbullin N.A.) // *Astrophysics.* 1985. V. 21. №. 2. P. 203.
- Люк Р.Е. и др. (Luck R.E., Kovtyukh V.V., Andrievsky S.M.) // *Astron. J.* 2006. V. 132. №. 3. P. 902.
- Тевенин Ф., Идиарт Т.П. (Thevenin F., Idiart T.P.) // *Astrophys. J.* 1999. V. 521. №. 2. P. 753.