

УДК 524.3-17

С. А. Хан

Таврический национальный университет им. В. И. Вернадского,
95007, Украина, Крымская АР, г. Симферополь, ул. Ялтинская 4

Определение параметров атмосферы звезды по ее фотометрическим характеристикам

На примере звезды HD 52696 рассмотрена возможность усовершенствования механизма оценки фундаментальных характеристик звезд по фотометрическим наблюдениям.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ АТМОСФЕРИ ЗІРКИ ЗА ЇЇ ФОТОМЕТРИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ, Хан С. А. — На прикладі зірки HD 52696 розглянута можливість поліпшення методу визначення фундаментальних характеристик зірок за фотометричними спостереженнями.

DETERMINATION OF STAR ATMOSPHERE PARAMETERS FROM PHOTOMETRIC FEATURES OF THE STAR, by Khan S. A. — We discuss the possibility to improve the procedure of estimating fundamental characteristics of stars from photometric observations, using the star HD 52696 as an example.

ВВЕДЕНИЕ

Исторически сложилось так, что фотометрические данные были первыми характеристиками, которые использовались для определения фундаментальных параметров звезд. Главной задачей данной работы был ответ на вопрос: можно ли достаточно адекватно определить фундаментальные характеристики конкретной звезды, используя только фотометрические данные и соответствующий математический аппарат.

Конечно, при наличии качественных спектроскопических данных разумно усилить методику определения фундаментальных характеристик звезд результатами спектроскопического анализа.

Работа проводилась на примере звезды HD 52696. Впервые наблюдательные данные по этой звезде были опубликованы в 1966 г. [12]. Сделано также несколько оценок блеска звезды в фотометрической системе Стремграна [3]. Звезда была классифицирована как ApSrEuCr [4]. Значения фотометрических индексов в системе $uvbyH_{\beta}$ согласно [3, 9] составляют: $b_y = 0.097$, $m_1 = 0.188$, $c_1 = 1.092$, $H_{\beta} = 2.883$.

ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ

Методика определения эффективной температуры $T_{\text{эф}}$ и ускорения свободного падения $\lg g$ из фотометрических данных была построена на базе широко используемого в астрофотометрии метода кильских диаграмм. Данный прием описан и использован, например, в работах [2, 7].

Особенность методики состоит в том, что она использует теоретически рассчитанные значения фотометрических величин. Подобные расчеты проводятся путем вычисления синтетического спектра в области пропускания конкретного фильтра фотометрической системы и его последующей сверткой с соответствующей кривой реакции. Ниже мы используем теоретические значения фотометрических величин в системе Стремгрена, рассчитанные Куруцем [6].

Множеству значений фотометрического индекса I для определенного значения металличности $[A]$ в пространстве, образованном осями $T_{\text{эф}}$, $\lg g$, I , соответствует трехмерная поверхность (рис. 1). В то же время конкретному значению I соответствует некоторая изолиния данной поверхности, состоящая из возможных пар значений $T_{\text{эф}}$, $\lg g$. Если такие изолинии нанести на одну плоскость $T_{\text{эф}} - \lg g$, то образуется некоторая область пересечения, центр тяжести которой соответствует искомым значениям $T_{\text{эф}}$ и $\lg g$ для предполагаемого значения $[A]$.

Располагая несколькими диаграммами для различных значений металличности, можно выбрать ту из них, которая позволяет найти однозначное решение задачи определения $T_{\text{эф}}$, $\lg g$ и дает минимальный разброс искомым величин. Таким образом, задача определения параметров атмосферы звезды решается не только относительно $T_{\text{эф}}$ и $\lg g$, но и относительно металличности.

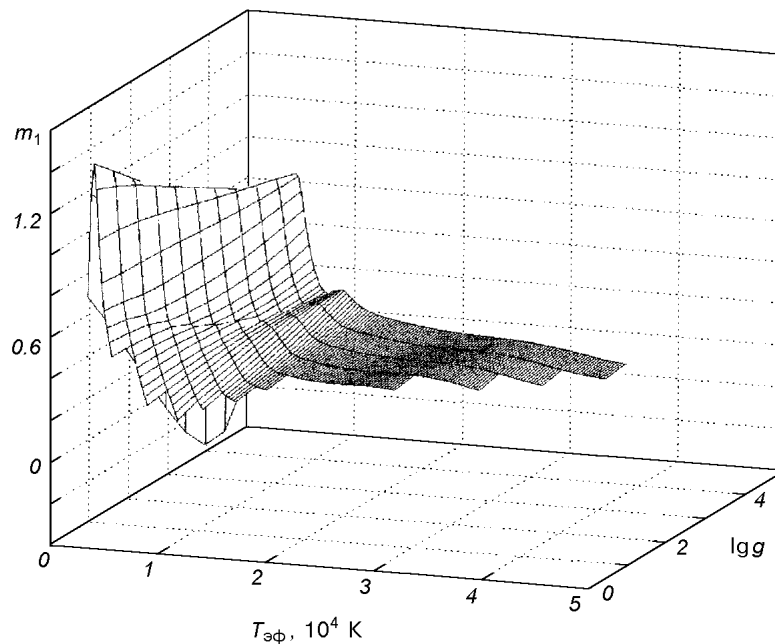


Рис. 1. Фотометрическая поверхность индекса m_1 , построенная по данным Куруца ($[A] = 1$, $v_T = 2$ км/с)

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ДЛЯ СР-ЗВЕЗДЫ HD 52696

Для того чтобы по данным фотометрии корректно определить параметры звездной атмосферы, необходимо учесть явление межзвездного покраснения света. Из работ [5, 8] известно, что поглощение света межзвездной средой в окрестностях Солнца неравномерное, и в области между $l = 210^\circ$ и 255° вплоть до расстояний 500 пк практически отсутствует. Для звезды HD 52696 $l = 231.21^\circ$, и межзвездное покраснение мало. Согласно данным, которые любезно предоставил нам профессор Мичиганского университета Ч. Каули, с учетом явления покраснения значения фотометрических величин составили: $(b_y)_0 = 0.048$, $(m_1)_0 = 0.204$, $(c_1)_0 = 1.083$.

Расчеты теоретических значений фотометрических величин Куруца охватывают диапазон $T_{\text{эф}}$ от 3500 К до 50000 К с шагом 250 К, диапазон $\lg g$ от 0 до 5 с шагом 0.5, что заведомо перекрывает область возможных значений $T_{\text{эф}}$ и $\lg g$ для нашей звезды. Расчеты Куруца представлены для набора значений металличности $[A]$: 0, ± 0.1 , ± 0.2 , ± 0.3 , ± 0.5 , ± 1.0 , а также для значений от -5.0 до -1.5 с шагом -0.5 при фиксированной микротурбулентной скорости 2 км/с. Для различных микротурбулентных скоростей (0, 1, 2, 4, 8 км/с) расчеты Куруца представлены только для $[A] = 0$.

Формально для нахождения $T_{\text{эф}}$ и $\lg g$ следовало бы построить 4-мерную поверхность в пространстве осей $T_{\text{эф}}$, $\lg g$, I , v_t . Однако влияние последней величины на оценки $T_{\text{эф}}$ и $\lg g$ крайне незначительно. Например, абсолютная разница показателей цвета для $v_t = 0$ км/с и $v_t = 2$ км/с при $[A] = 0$, $T_{\text{эф}} = 8500$ К, $\lg g = 3.5$ согласно расчетам Куруца составляет: $\Delta(b_y) = 0.001$, $\Delta m_1 = 0.004$, $\Delta c_1 = 0.004$. Таким образом, изменение микротурбулентной скорости не оказывает значительного влияния на показатели цвета. Поэтому нами были использованы данные Куруца для фиксированной микротурбулентной скорости 2 км/с для широкого набора металличностей. В процессе дальнейшего спектроскопического анализа значение микротурбулентной скорости для исследуемой звезды было уточнено и оказалось равным 0 км/с.

Так как звезда пекулярна, то привязаться к строго определенной металличности не представляется возможным. Поэтому мы выполнили расчеты для всего набора положительных значений металличностей, представленных Куруцем.

Построение фотометрических поверхностей было осложнено тем, что данные Куруца имеют неравномерное заполнение по оси $\lg g$, поэтому мы произвели кубическую интерполяцию значений $\lg g$ вдоль равномерной сетки $T_{\text{эф}}$. Чтобы повысить точность определения $T_{\text{эф}}$, $\lg g$, полученные поверхности были проинтерполированы двумерной кубической интерполяцией на более плотную сетку значений $T_{\text{эф}}$, $\lg g$ (шаг 10 К и 0.05 соответственно).

Далее, среди полученных значений I были выбраны те, которые совпали с наблюдаемым значением фотометрического индекса с точностью ± 0.001 . После нахождения изолиний всех четырех индексов они были нанесены на одну плоскость $T_{\text{эф}}$, $\lg g$ (рис. 2).

Согласно условию, что решение задачи должно быть однозначным и давать минимальный разброс значений $T_{\text{эф}}$, $\lg g$, из пяти построенных диаграмм (для набора положительных значений металличности) в дальнейшем рассмотрении принимала участие только диаграмма для $[A] = 1.0$ (рис. 2). Из этой диаграммы мы определили положение центра тяжести области пересечения изолиний, который находится в точке с координатами $T_{\text{эф}} = 8620$ К, $\lg g = 3.55$.

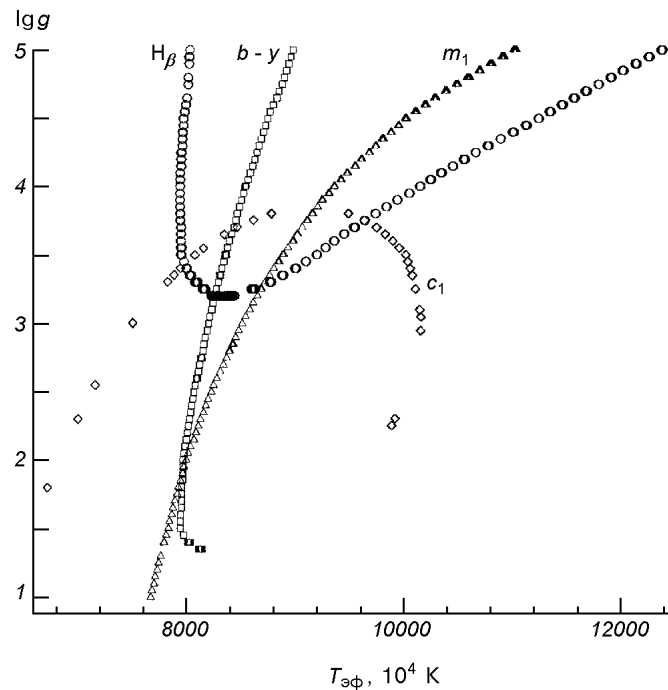


Рис. 2. Диаграмма с изолиниями фотометрических индексов, построенная для $[A] = 1$, $v_T = 2$ км/с

С учетом разброса значений $T_{\text{эф}}$, $\lg g$, обусловленного тем, что изолинии пересекаются не в точке, а определяют некоторую область возможных значений, окончательно получены значения $T_{\text{эф}} = 8620 \pm 400$ К, $\lg g = 3.55 \pm 0.3$. Эта оценка эффективной температуры в пределах ошибок соответствует эффективной температуре звезд, классифицированных как АЗ [1]. По данным [11] именно к этому спектральному классу принадлежит звезда HD 52696.

Использование стандартных калибровок Релея—Куруца [10] (для звезд с химсоставом $[m/H] = 0$, диаграмма $[b - y] - c_1$) дает оценки $T_{\text{эф}} = 8500$ К и $\lg g = 3.8$, которые согласуются в пределах ошибок с приведенными выше значениями.

В дальнейшем полученные чисто фотометрическим путем значения $T_{\text{эф}} = 8620$ К, $\lg g = 3.55$ были использованы для анализа спектра звезды, в процессе которого один из важнейших критериев правильности определения $T_{\text{эф}}$, $\lg g$, а именно, ионизационное равновесие, показал хорошее согласие с полученными данными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа одной звезды сложно сделать обобщающие выводы, однако дальнейшие исследования, выполненные по другим звездам (HD 6532, HD 42659), подтверждают, что даже для пекулярных звезд определение фундаментальных характеристик звездных атмосфер с помощью только фотометрического метода оказывается возможным.

Автор признателен профессору астрономии Мичиганского университета Чарльзу Каули, стимулировавшему данную работу, за оказанную помощь.

1. Ленг К. Астрофизические формулы / Под ред. Д. К. Надеждина и Л. М. Озерного. — М.: Мир, 1978.—Ч. 2.—383 с.
2. Терез Э. И. Сравнение теоретических моделей атмосферы Веги с результатами наблюдений // Кинематика и физика небес. тел.—1985.—1, № 5.—С. 3—9.
3. Hauck B., Mermilliod M. Uvbybeta photoelectric photometric catalogue // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1998.—129, N 3.—P. 431—433.
4. Houk N., Smith-Moore M. Michigan catalogue of two-dimensional spectral types for the HD stars. Volume 4: Declinations -26.0° to -12.0° . — Ann Arbor: Univ. Mich., 1988.—520 p.
5. Krautter J. The Distribution of the Interstellar Dust in the Galactic Plane within 3 kpc // Astron. and Astrophys.—1980.—89, N 1-2.—P. 74—79.
6. Kurucz R. L. Atlas 9 stellar atmosphere programs and 2 km/s grid. — Cambridge: Smithsonian Astrophys. Observ., 1993.—CD-ROM N 13.
7. Lange G. L., Wing R. F. Calibration of flux distributions // Dudley Observ. Rept.—1979.—N 14.—P. 263—277.
8. Lucke P. B. The Distribution of Color Excesses and Interstellar Reddening Material in the Solar Neighborhood // Astron. and Astrophys.—1978.—64, N 3.—P. 367—377.
9. Masana E., Jordi C., Maitzen H. M., Torra J. CP2 stars as viewed by the uvbyH β system // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1998.—128, N 2.—P. 265—275.
10. Relyea L. J., Kurucz R. L. The theoretical analysis of uvby photometry // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1978.—37, N 1.—P. 45—69.
11. Renson P., Gerbaldi M., Catalano F. A. General catalogue of Ap and Am stars // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1991.—89, N 3.—P. 429—434.
12. Smithsonian Astrophysical Observatory Catalog. Positions and proper motions of 258.997 stars for the Epoch and Equinox 1950.0. — Washington: Smithsonian Institution, 1966.—Part 1—4.

Поступила в редакцию 24.01.02