

УДК: 524.316.2.022

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЗВЕЗД-ГИГАНТОВ ПО ЖЕНЕВСКОЙ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЕ

Л. В. КОРОТИНА, А. В. ДРАГУНОВА, Н. С. КОМАРОВ

Поступила 22 августа 1989

Принята к печати 30 сентября 1989

Предложен метод определения фундаментальных характеристик звезд-гигантов поздних спектральных классов по фотометрии в Женевской системе путем использования для калибровки большого количества звезд-стандартов. Получен каталог $T_{\text{эфф}}$, $\lg g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$ для 982 звезд-гигантов спектральных классов G 5 — K 5. Определены шкалы эффективных температур и ускорений силы тяжести. Получено распределение металличности по спектральным классам. Сделан вывод о возможном наличии двух возрастных групп среди гигантов диска.

В восьмидесятые годы особый интерес вызвала проблема эволюции содержания химических элементов, что и обусловило значительное развитие астрофизических наблюдений разнообразных объектов Галактики для определения их фундаментальных характеристик. Фундаментальные характеристики звезд можно определить двумя методами. Первый метод — это получение и анализ высокодисперсионных спектров. Этот метод применим только для ярких звезд, т. к. затраты времени на получение спектров и их обработку велики. Второй метод основан на анализе фотометрических наблюдений с помощью калибровок, полученных по надежно определенным данным. С помощью этого метода можно получить характеристики большого числа слабых звезд.

Все определения фундаментальных характеристик звезд, полученные по фотометрии, страдают одним недостатком — калибровка фотометрических индексов проводилась по малому количеству объектов. Поэтому целью настоящей работы является получение фундаментальных характеристик звезд по Женевской фотометрической системе, используя для калибровки большое количество звезд-стандартов Одесской астрономической обсерватории.

Семицветная система $UB_1BB_2VV_1G$ была осуществлена в 1963 г. в женеvской обсерватории Голэ. Она состоит из трех широкополосных величин с кривыми реакции, близкими к UBV , и четырех среднеполосных, ширины которых в два раза меньше, чем у величин B и V . Средние длины волн для каждого фильтра приведены в табл. 1.

Таблица 1

СРЕДНИЕ ДЛИНЫ ВОЛН (в А) ФИЛЬТРОВ
ЖЕНЕВСКОЙ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ

U	B_1	B	B_2	V_1	V	G
3456	4024	4245	4480	5400	5500	5805

Для исследований в нашем распоряжении был каталог Руфенер [1], содержащий 13500 звезд всех спектральных классов и светимостей. Звезды выбирались непокрасневшие, по нормальному показателю цвета B_2-V_1 , определенному Голэ [2].

На галактических широтах $b < \pm 25^\circ$ выбирались звезды с известными классами светимости, а на более высоких широтах класс светимости определялся, если он не был указан в каталоге, по диаграммам d/B_2-V_1 , Δ/B_2-V_1 , Δ/d , которые были построены для звезд с известными классами светимости.

$$d = (U - B_1) - 1.430 (B_1 - B_2),$$

$$\Delta = (U - B_2) - 0.832 (B_2 - G).$$

На всех трех диаграммах карлики уверенно отделяются от гигантов, а яркие гиганты и сверхгиганты исключались по показателю цвета B_2-V_1 и известному спектральному классу.

Звезды для калибровки (170 звезд) были отобраны из каталога Мотрича [3], который является оригинальным исследованием. Предпочтение каталогу [3] было отдано из-за того, что он является однородным, наиболее обширным и в нем присутствуют все три интересующие нас величины $T_{\text{эфф}}$, $\lg g$, и $[\text{Fe}/\text{H}]$. Для определения фундаментальных характеристик красных гигантов в [3] были использованы спектрофотометрические наблюдения АО ОГУ [4] и данные распределений энергии из каталогов Глушневой и др. [5], Харитоновой и др. [6], приведенные к единому стандарту α Луг. Калибровка индекса металличности в [3] выполнена по определениям $[\text{Fe}/\text{H}]$ из высокодисперсионных наблюдений Мишениной [7], Мишениной, Мотрича, Комарова [8], Хельфера, Валлерштейна, Конти [9, 10], приведенных в одну систему. Калибровка температурного индекса проводилась по прямым определениям Риджвея [11] и данным каталога

Керель [12], индекса ускорения силы тяжести—по данным каталога [12]. Затем нами были построены разнообразные зависимости между показателями цвета [1] и фундаментальными характеристиками звезд [3] и варианты наилучшие.

Зависимость показателя цвета B_2-G от эффективной температуры была аппроксимирована параболой:

$$\theta_{\text{эфф}} = 0.261 (B_2 - G)^2 + 0.00817 (B_2 - G) + 0.967, \quad (1)$$

$$\theta_{\text{эфф}} = \frac{5040}{T_{\text{эфф}}}, \quad \sigma = \pm 125 \text{ К.}$$

Показатель цвета V_1-G является индикатором ускорения силы тяжести:

$$\lg g = -6.204 (V_1 - G) + 1.277, \quad \sigma = \pm 0.25 \text{ dex.} \quad (2)$$

Для определения металличности использована диаграмма $m_2/\theta_{\text{эфф}}$, где m_2 — основной параметр Женевской системы, приведенный в каталоге [1],

$$m_2 = (B_1 - B_2) - 0.457 (B_2 - V_1). \quad (3)$$

Звезды с солнечным химсоставом из каталога [3] образуют на диаграмме $m_2/\theta_{\text{эфф}}$ последовательность

$$m_2 = -2.85 \theta_{\text{эфф}}^2 + 7.63 \theta_{\text{эфф}} - 4.93. \quad (4)$$

Отклонения Δm_2 индивидуальных значений m_2 от кривой нормального химсостава коррелируют с $[\text{Fe}/\text{H}]$:

$$[\text{Fe}/\text{H}] = 2.78 \Delta m_2 + 0.01, \quad \sigma = \pm 0.12 \text{ dex.} \quad (5)$$

Следующим этапом работы было нахождение зависимостей вида

$$\Delta \theta_{\text{эфф}} / \lg g, \quad \Delta \theta_{\text{эфф}} / [\text{Fe}/\text{H}], \quad \Delta \lg g / \theta_{\text{эфф}} \text{ и т. д.}$$

Было обнаружено, что существует зависимость

$$\Delta \theta_{\text{эфф}} = -0.013 - 0.110 [\text{Fe}/\text{H}], \quad (6)$$

и эта поправка была внесена в определение эффективной температуры. Затем определялась $[\text{Fe}/\text{H}]$ во втором приближении.

Также была исследована связь новых фундаментальных характеристик с данными, полученными другими авторами.

$[\text{Fe}/\text{H}]$ сравнивалось с данными из каталогов: [13], $\sigma = \pm 0.12 \text{ dex}$, [14], $\sigma = \pm 0.16 \text{ dex}$, [15], $\sigma = \pm 0.12 \text{ dex}$. Для [15] обнаружена систематическая зависимость

$$[\text{Fe}/\text{H}]_{[15]} = -0.384 [\text{Fe}/\text{H}]_{[16]}^2 + 0.963 [\text{Fe}/\text{H}]_{[16]} + 0.141. \quad (7)$$

Для [13] и [14] систематической зависимости нет. На рис. 1 приведено графическое сравнение полученных нами значений $[\text{Fe}/\text{H}]$ с дан-

ными каталогов [13] — рис. 1а, [14] — рис. 1б, [15] — рис. 1с. При сравнении каталогов [14] и [16] из [14] были отобраны общие с [16] звезды с $[Fe/H] > -0.5$ dex. $T_{эфф}$ сравнивалась с данными из каталогов [15] (рис. 2а) и [17] (рис. 2б). В обоих случаях имеется систематическое различие, которое можно объяснить расхождениями в шкалах эффективных температур.

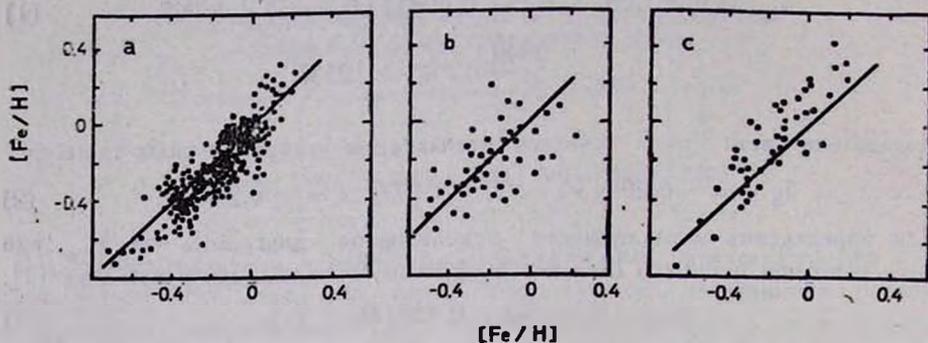


Рис. 1. Сравнение полученных $[Fe/H]$ с данными: а — [13], б — [14], с — [15].

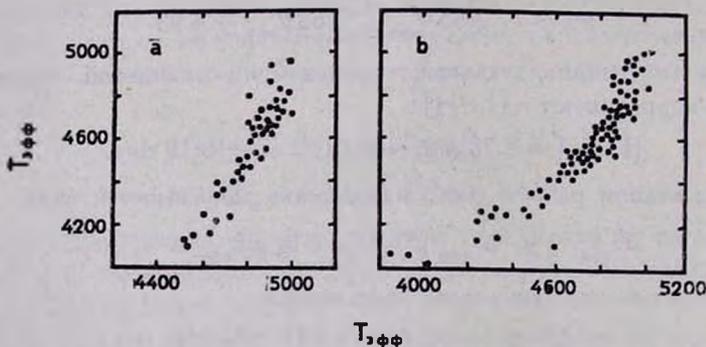


Рис. 2. Сравнение полученных $T_{эфф}$ с данными: а — [15], б — [17].

$$T_{эфф[15]} = -2890 + 1.55 T_{эфф[16]}, \quad \sigma = \pm 120 \text{ K}; \quad (8)$$

$$T_{эфф[17]} = 8.16 \cdot 10^{-4} T_{эфф[16]}^2 - 6.47 T_{эфф[16]} + 16931, \quad \sigma = \pm 70 \text{ K}, \quad (9)$$

$\lg g$ сравнивался с данными тех же каталогов, что и $T_{эфф}$ (рис. 3а, б). При сравнении с [15] $\sigma = \pm 0.20$ dex для прямой, идущей под углом 45° через начало координат.

При сравнении с [17] обнаружена зависимость

$$\lg g_{[17]} = 0.518 + 0.938 \lg g_{[16]}, \quad \sigma = \pm 0.19 \text{ dex}. \quad (10)$$

В результате проведенной работы был получен каталог фундаментальных характеристик звезд-гигантов спектральных классов G и K (982 звезды) и сделан вывод, что по фотометрии в Женевской системе можно определять фундаментальные характеристики звезд-гигантов поздних спектральных классов, если для калибровки взять большое количество звезд с характеристиками, определенными в однородной системе по единой методике, с точностью для $T_{\text{эфф}} \pm 150$ K, для $\lg g \pm 0.2$ dex, для $[\text{Fe}/\text{H}] \pm 0.15$ dex.

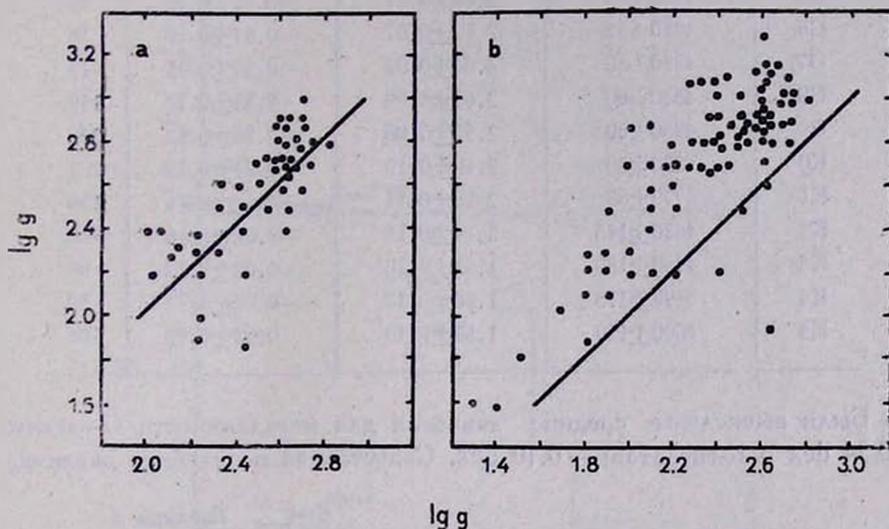


Рис. 3. Сравнение полученных $\lg g$ с данными: а — [15], б — [17].

В результате исследования каталога [16] были определены шкалы $T_{\text{эфф}}$, $\lg g$ и вычислены значения средней металличности для каждого спектрального класса. Они приведены в табл. 2, где N означает количество звезд данного спектрального класса в каталоге [16]. Сопоставление полученной нами шкалы эффективных температур с установленными ранее шкалами приведено в табл. 3, где наша шкала принята за единицу. Первый столбец — шкала Густафссона [18], второй — Комарова [19], 3 — Бом-Витензе [20], 4 — Де Ягера [21], 5 — Риджвея [11], 6 — Винга [22], 7 — Виллиамса [23], 8 — Леджета [24].

На рис. 4 приведено общее распределение звезд по металличности (а) и отдельно — распределение по металличности G-гигантов (б) и K-гигантов (с).

Распределение G-гигантов практически обрывается у значения $[\text{Fe}/\text{H}] = 0$, а распределение K-гигантов продолжается до $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.3$.

В сторону дефицита металлов оба распределения продолжают до $[Fe/H] = -0.5$ dex.

Таблица 2

ШКАЛЫ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕМПЕРАТУР, УСКОРЕНИЙ СИЛЫ
ТЯЖЕСТИ И ЗНАЧЕНИЯ СРЕДНИХ МЕТАЛЛИЧНОСТЕЙ

Sp	$T_{эфф}$	$lg g$	$\langle [Fe/H] \rangle$	N
G5	4930 \pm 45	2.76 \pm 0.07	-0.43 \pm 0.12	21
G6	4910 \pm 65	2.69 \pm 0.07	-0.37 \pm 0.19	16
G7	4890 \pm 50	2.64 \pm 0.09	-0.32 \pm 0.13	15
G8	4880 \pm 60	2.62 \pm 0.09	-0.33 \pm 0.13	119
G9	4880 \pm 60	2.57 \pm 0.08	-0.23 \pm 0.12	252
K0	4830 \pm 80	2.49 \pm 0.12	-0.22 \pm 0.13	289
K1	4770 \pm 80	2.36 \pm 0.11	-0.12 \pm 0.11	100
K2	4630 \pm 145	2.14 \pm 0.15	-0.05 \pm 0.16	112
K3	4450 \pm 180	1.93 \pm 0.12	-0.02 \pm 0.12	95
K4	4190 \pm 175	1.68 \pm 0.17	-0.02 \pm 0.15	59
K5	4000 \pm 150	1.50 \pm 0.13	0.02 \pm 0.08	106

Были вычислены средние значения для металличности G-гигантов: -0.34 dex и K-гигантов: -0.10 dex. Сопоставляя полученное различие в

Таблица 3

Sp	1	2	3	4	5	6	7	8
G5	0.99		1.03	1.03			1.06	
G6				1.02				
G8	0.98				1.01			1.02
G9					0.99			0.99
K0	0.95	1.00	0.99	0.97	0.97	1.03	0.99	1.00
K1	0.94	0.95	0.96		0.96	1.00		
K2	0.94	0.93	0.93	0.96	0.97	0.99	0.97	0.93
K3	0.92	0.92	0.94	0.94	1.00	0.98		
K4	0.94	0.95	0.94	0.94	0.98	1.00	1.01	
K5		0.99	0.94		0.98			0.99

средней металличности гигантов диска поздних спектральных классов с погрешностью в определении $[Fe/H]$ 0.15 dex, можно сделать вывод, что существует реальное различие средней металличности G и K-гигантов.

Рассмотрим обнаруженную нами при исследовании каталога [16] зависимость средней металличности от температуры, изображенную на рис. 5. Здесь следует отметить, что рис. 5 не является отражением табл. 2. В табл. 2 приведены средние значения эффективной температуры, ускорения силы тяжести и металличности для каждого спектрального класса. Для построения рис. 5 средняя металличность определялась для звезд одинако-

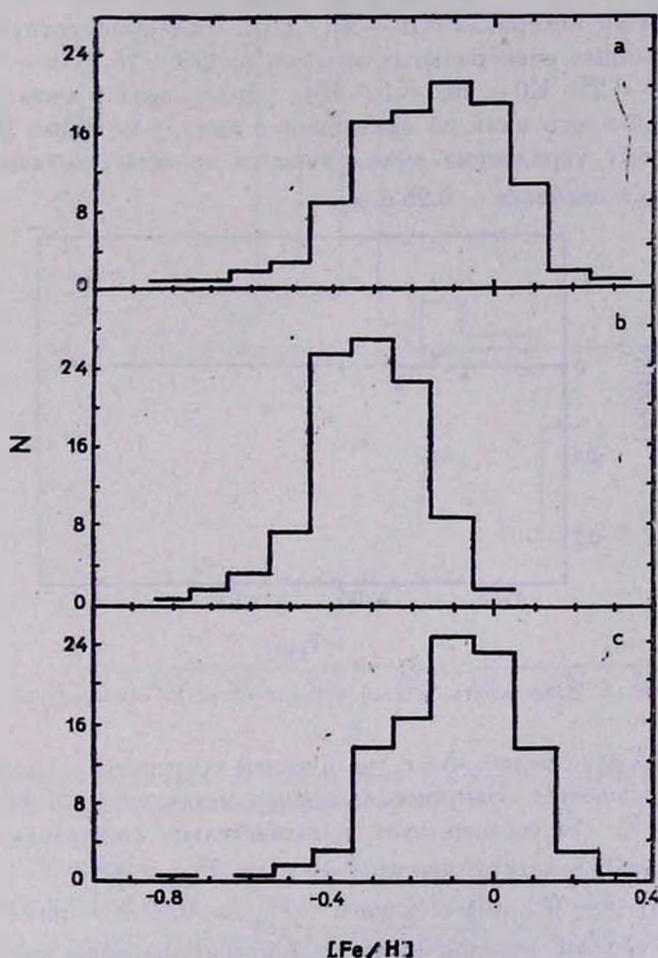


Рис. 4. Распределение звезд по металличности: а — общее, б — G-гигантов, с — K-гигантов. Площадь под кривой равна 100.

вой температуры. Средние $T_{\text{эфф}}$ для каждого подкласса из интервала G5 — G9 оказались близкими к значению 4900 К в пределах ошибок. Это связано, отчасти, с неточностью спектральной классификации и с тем, что доля высокотемпературных звезд ($T_{\text{эфф}} > 5000$ К) в нашем каталоге из

интервала G5—G7 ограничена самим методом калибровки, т. к. аппроксимация параболой (см. формулу (1)) пригодна для звезд с показателем цвета (B_2-G) > 0.3 , и средняя $T_{\text{эфф}}$ для звезд G5—G7 должна быть выше. В связи с этим далее анализировалась средняя металличность для конкретной температуры, а не спектрального подкласса. При вычислении средней металличности для звезд с $T_{\text{эфф}} \sim 4900$ К (рис. 5) были выбраны звезды из интервала G5—K1, т. к. они присутствуют в каждом из указанных спектральных классов (в G5—16, G6—9, G7—7, G8—58, G9—25, K0—60, K1—10). Доля звезд с металличностью порядка -0.4 здесь мала по сравнению с теми, у которых $[Fe/H] \sim -0.2$, поэтому усреднение металличности по всем звездам с $T_{\text{эфф}} \sim 4900$ К дает значение -0.25 dex.

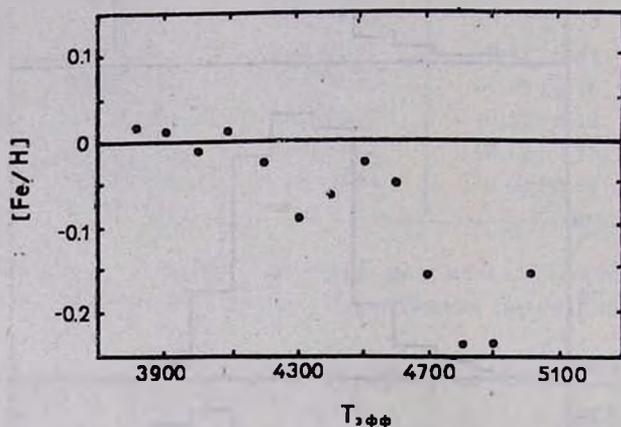


Рис. 5. Зависимость средней металличности от температуры.

На рис. 5 ясно видно, что с увеличением температуры средняя металличность уменьшается. Заметное изменение металличности происходит в районе 4600 К, что соответствует приблизительно спектральному классу K2. Еще можно заметить, что все точки с $T_{\text{эфф}} < 4600$ К лежат выше линии $[Fe/H] = -0.1$, а все точки с $T_{\text{эфф}} > 4600$ К — ниже. Подобная зависимость средней металличности от температуры обнаружена для выборок звезд из разных каталогов как для гигантов [25], так и для карликов [26] и ее достоверность не вызывает сомнения. Наша зависимость в районе спектральных классов K4—K5 несколько отличается от зависимости, приведенной в [25]. Это связано, видимо, с тем, что из-за неточности спектральной классификации в этом районе нами как покрасневшие были отброшены и некоторые непокрасневшие, но с дефицитом металлов звезды.

Такой характер связи средней металличности с температурой согласуется с гипотезой о существовании двух групп звезд со скачком металличности между ними. Для карликов эту гипотезу подтверждают гистограммы распределения их по металличности*. Они показывают провал в районе

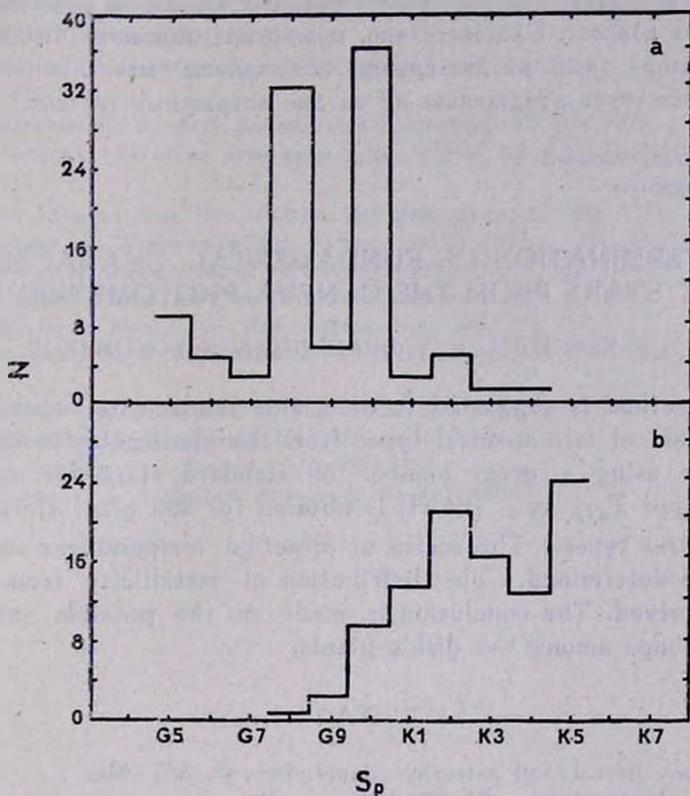


Рис. 6. Распределение звезд по спектральным классам: а — с $[Fe/H] < -0.3$, б — с $-0.1 < [Fe/H] < 0.1$. Площадь под кривой равна 100.

$[Fe/H] = -0.1$ [27]. Гистограммы распределения по металличности гигантов диска (в том числе и наша — см. рис. 4а), за исключением гистограмм звезд северного и южного полюса Галактики, не показывают провала в области $[Fe/H] = -0.1$ [28]. Но, построив гистограмму распределения звезд-гигантов из каталога [16] по спектральным классам с $[Fe/H] < -0.3$ (рис. 6а) и $-0.1 < [Fe/H] < 0.1$ (рис. 6б), видим, что мало-металлические гиганты сосредоточены в более ранних спектральных клас-

* Эти гистограммы, как и полученные для гигантов в [28], основаны на анализе фотометрических данных.

сах, а звезды с нормальным химическим составом — в более поздних, т. е. рис. 6 может также подтвердить наличие среди гигантов диска двух групп с разной средней металличностью. Определение средней металличности звезд-гигантов, принадлежащих рассеянным скоплениям и динамическим группам, показывает, что содержание тяжелых элементов у гигантов диска отражает их возраст. Следовательно, можно предположить что разделение звезд-гигантов диска на две группы со скачком металличности между ними соответствует разделению их на две возрастные группы.

Одесский государственный
университет

THE DETERMINATION OF FUNDAMENTAL CHARACTERISTICS OF GIANT STARS FROM THE GENEVA PHOTOMETRIC SYSTEM

L. V. KOROTINA, A. V. DRAGUNOVA, N. S. KOMAROV

The method is suggested to determine fundamental characteristics of giant stars of late spectral types from the photometry in the Geneva system by using a great number of standard stars for calibration. The catalogue T_{eff} , $\lg g$, $[Fe/H]$ is obtained for 982 giant stars of G5—K5 spectral types. The scales of effective temperatures and surface gravity are determined. The distribution of metallicity from spectral types is derived. The conclusion is made on the possible presence of two age groups among the disk's giants.

ЛИТЕРАТУРА

1. F. Rufener, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 45, 207, 1981.
2. M. Golay, *Vistas Astron.*, 24, 141, 1980.
3. В. Д. Могрич, Каталог фундаментальных характеристик звезд поздних спектральных классов (Деп. 11. 08. 88 в УкрНИИИИТИ, № 1926 Ук-88).
4. Н. С. Комаров, В. А. Повизун, С. И. Белик и др, Спектрофотометрия звезд в диапазоне $\lambda\lambda$ 550—900 нм., Наукова думка, Киев, 1983.
5. И. В. Волошина, И. Н. Глушчева, В. Т. Дорошенко и др. Спектрофотометрия ярких звезд, Наука, М., 1982.
6. А. В. Харитонов, В. М. Терещенко, Л. Н. Князева, Сводный спектрофотометрический каталог звезд, Наука, Алма-Ата, 1978.
7. Т. В. Мишенина, Канд. диссертация, Одесса, 1985.
8. Н. С. Комаров, Т. В. Мишенина, В. Д. Могрич, *Астрон. ж.*, 62, 740, 1985.
9. H. L. Helfer, G. Wallerstein, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 9, 81, 1964.
10. G. Wallerstein, P. Conti, *Astrophys. J.*, 140, 835, 1964.
11. S. T. Ridgway, R. R. Joyce, *Astrophys. J.*, 235, 126, 1980.
12. C. de Strobel, C. Bentolila, B. Hauck, A. Dygnennay, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 59, 145, 1985.

13. *L. Hansen, P. Kjaergaard*, *Astron. and Astrophys.*, 15, 123, 1971.
14. *W. I. Hartkopf, K. M. Yoss*, *Astron. J.*, 87, 1679, 1982.
15. *B. Gustafsson, P. Kjaergaard, P. Andersen*, *Astron. and Astrophys.*, 34, 99 1974.
16. *Л. В. Коротина, А. В. Драгунова, Н. С. Комаров*, Каталог фундаментальных характеристик 980 звезд-гигантов поздних спектральных классов, (Деп. 18, 08. 88 в УкрНИИНТИ, № 2037 Ук-88).
17. *M. E. Rego, P. M. Williams, D. W. Peat*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 160, 129, 1972.
18. *B. Gustafsson, R. A. Bell*, *Astron. and Astrophys.*, 74, 313, 1979.
19. *Н. С. Комаров*, «Звездные атмосферы» (Деп. 14. 04. 87 в УкрНИИНТИ, № 1230 Ук-87).
20. *E. Böhm—Vltense*, *Ann. Rev. Astron. and Astrophys.*, 19, 295, 1981.
21. *C. De Jager, H. Nieuwenhutzen*, *Astron. and Astrophys.*, 177, 217, 1987.
22. *R. E. Wing, B. Gustafsson, K. Erickson*, *Calibration Fund. Stellar Quant. Proc.* 111th Symp., Como, May 24—29, 1984, Dordrecht. 1985, p. 571.
23. *P. M. Williams*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 153, 171, 1971.
24. *S. K. Leggett, C. M. Mounteln, M. I. Selly*, *Astron. and Astrophys.*, 159, 217, 1986.
25. *В. А. Марсаков, А. А. Сучков*, *Астрон. ж.*, 62, 687, 1985.
26. *В. А. Марсаков, А. А. Сучков, Ю. Г. Шевелев*, *Астрон. ж.*, 61, 463, 1984.
27. *А. А. Сучков*, *Письма в Астрон. ж.*, 6, 632, 1980.
28. *В. А. Марсаков, А. А. Сучков*, *Астрон. ж.*, 62, 847, 1985.