

ПЕКУЛЯРНЫЕ ЗВЕЗДЫ В СКОПЛЕНИЯХ α ПЕРСЕЯ, М39, ВОЛОСЫ ВЕРОНИКИ

В. Г. Клочкова

По спектрограммам высокого разрешения, полученным на ОЗСП 6-м телескопа, определены количественные спектральные классы, типы пекулярности, эффективные температуры T_e , ускорения силы тяжести $\lg g$ и скорости вращения $v \sin i$ для пекулярных звезд в рассеянных скоплениях α Персея, М39, Волосы Вероники.

The quantitative spectral types, the degrees of peculiarity of the spectra, the effective temperatures T_e , the surface gravities $\lg g$ and the velocities of rotation $v \sin i$ for peculiar stars in the open clusters α Per, M39, Coma Berenices are defined from the high resolution spectrograms obtained with the 6-m telescope.

В программу спектроскопического исследования пекулярных звезд в рассеянных скоплениях разного возраста, выполнение которой ведется на 6-м телескопе [1—4], включены, в частности, скопления α Персея (Ме 20), М39 (NGC 7092) и Волосы Вероники (Ме 111). Эти три скопления — близкие, хорошо изученные, отбор их членов выполнен достаточно строго, поэтому мы не ставили своей задачей проверку принадлежности звезд к этим скоплениям, а воспользовались имеющимися в литературе списками их членов [5—9].

По данным *UBV*-фотометрии из [5] для α Персея, М39 и Волос Вероники мы построили диаграмму Герцшпрунга—Рессела в координатах V_0 , $(B-V)_0$. Для двух первых скоплений величины V и $B-V$ исправлены за межзвездное поглощение и покраснение. Для скопления Волосы Вероники межзвездное поглощение принято равным нулю. Учет покраснения осуществлялся по линиям покраснения с наклоном 0.72, величина $R = A_v / [E(B-V)]$ принята равной $R = 3.2$. В качестве диаграммы $(U-B)_0$, $(B-V)_0$ мы использовали линию истинных цветов из книги Страйжиса [10]. Сдвигом построенной диаграммы относительно исходной главной последовательности [10, 11] в координатах M_v , $(B-V)_0$ для скопления определены модули расстояния $V_0 - M_v$, по точке поворота главной последовательности сделана оценка возрастов $T = 2.0 \cdot 10^7$, $1.6 \cdot 10^8$, $5.0 \cdot 10^8$ лет для α Персея, М39, Волос Вероники соответственно. Значения $V_0 - M_v = 6^m 04 \pm 0^m 05$, $7^m 10 \pm 0^m 10$ и $4^m 69 \pm 0^m 02$, определенные нами, хорошо согласуются с современными определениями этих величин [12—14]. Необходимо отметить, что при определении модуля расстояния для Волос Вероники показатели цвета $B-V$ для F- и G-звезд исправлены в соответствии с ультрафиолетовым избытком $\delta(U-B) = +0^m 035$, $\Delta(B-V) = 0^m 02$ [15].

При подготовке программы наблюдений пекулярных звезд мы собрали из литературы многочисленные данные по спектральной классификации звезд из α Персея, М39, Волос Вероники. Перечисление всех статей было бы затруднительно. Отметим только работы Абта и сотрудников [16—18]; их программа МК-классификации звезд — членов рассеянных скоплений нацелена на поиск в скоплениях звезд с аномалиями в спектрах [19], поэтому их результаты представляют для нас особый интерес.

В табл. 1 перечислены звезды, для которых мы нашли в литературе какие-либо указания о наличии аномалий в спектрах. Все эти звезды были включены в программу наших наблюдений. В 3-м столбце таблицы приведены спектральные классы из [16—18], в следующем столбце мы привели классификацию этих же звезд из других работ для иллюстрации значительных расхождений в результатах разных авторов.

ТАБЛИЦА 1

Скопление	HD	Sp (MK)	Sp (MK)	$Sp(B-V)$	$Sp(Fe, Ti)$	$v \sin i$	
						CAO	[24]
1	2	3	4	5	6	7	8
α Персея	19805	A0Vsp: (Si)	B9.5V	B9.8	B8.8	15	20
	20135	Am	A0p, A1V	A0.7	B9.8	27	35
	21699	B5Vp(He wk sn)	B8p, B9III	B4.5	B9.0	37	59
	22436	B8IV : sn	B8p, B8V	B8.1	B8.1	27	36
	22401	A0Vp(Sr, Cr, Si)	A0V	B9.5	B9.2	37	40
M39	204131	—	B9 (Si, Cr, Sr)	B9.5	A0.2	50	—
	205073	A1Vp	A1p (Sr, Cr) A0V	A0.1	B9.2	27	8
	205116	B9.5V (Sr)	B9.5V	B9.6	B8.2	32	93
	205117	A1Vp	A0IV, A0Vs	A0.7	B9.5	100	87
	205498	A1.5Vp	A1V	A0.3	B9.6	49	28
	205331	A1Vp	A1III, B9IV	A0.1	B9.4	37	28
Волосы Вероники	107966	A2V	A4p, A3V, Am	A2.7	A0.4	48	54
	108382	A2V	A4p, A4V, A2m	A2.7	A1.8	71	89
	108651	Am	A0p, A2m	A7.2	A2.3	27	12
	108662	Ap (Ca wk, Si, Cr st)	B9p (Sr, Cr, Eu)	B9.5	A0.7	16	18
	108945	Ap (Sr)	A2p (Sr, Cr) A3p	A2.0	A0.8	62	63

Наблюдения и определение физических характеристик пекулярных звезд. В течение 1980—1982 гг. для звезд программы на II камере Основного звездного спектрографа БТА были получены по 3—4 спектрограммы в области $\lambda = 3900 \div 4900 \text{ \AA}$ на пластинках Kodak IIaO, спектральное разрешение $\Delta\lambda = 0.25 \text{ \AA}$, высота спектрограмм около 0.6 мм. Вся последующая спектрофотометрическая обработка выполнена по записям на микрофотометре прямых интенсивностей. Измерения контуров и эквивалентных ширин W_λ линий проводились отдельно по каждой спектрограмме, а затем усреднялись, поскольку в своей работе мы пока не ставили целью изучение возможной спектральной переменности пекулярных звезд.

В наших предыдущих работах [1, 2] мы рассматривали вопросы системы W_λ , точности W_λ , а также подробно описывали процедуру количественного определения спектрального класса по W_λ линий Fe II, Ti II. Здесь мы напомним, что для определения $Sp(Fe, Ti)$ используются калибровочные зависимости $W_\lambda(Sp)$ из работ Копылова [20, 21] и что точность значений $Sp(Fe, Ti)$ составляет ± 0.3 подкласса. Полученные нами значения $Sp(Fe, Ti)$ приведены в 6-м столбце табл. 1; в 5-м столбце даны спектральные классы по показателю цвета $(B-V)_0$ согласно [10]. Для ряда звезд программы $Sp(Fe, Ti)$ и $Sp(B-V)$ различаются существенно, что часто отмечается у пекулярных звезд.

Для количественного определения типа и степени пекулярности спектров p были измерены W_λ линий и ионов, которые обычно показывают отклонения W_λ от нормальных значений: He I (4009, 4144, 4388, 4471), C II (4267), Si II (4128, 4131, 4200), Mg II (4481), Ca II (3933), Cr I (4254), Cr II (4242, 4275, 4559), Sr II (4077, 4215), Eu II (4129, 4205), Mn II (4137, 4206, 4284), Hg II (3984) Y II (4309). Под степенью пекулярности спектра p мы понимаем отношение W_λ , измеренной в спектре исследуемой звезды, к значению W_λ в спектре нормальной звезды с таким же $(B-V)_0$. Так как для нормальных звезд одного спектрального класса значения W_λ имеют естественный разброс из-за эффектов светимости, турбулентных движений и т. п., измеренные в спектре пекулярной звезды W_λ мы относим к предельным значениям W_λ , наблюдаемым в спектрах нормальных звезд. Примеры калибровочных зависимостей $W_\lambda(Sp)$ мы приводили в [1, 2].

В табл. 2, в столбцах 2—10, приведены величины p для указанных выше элементов и ионов, в 11-м столбце даны W_λ полосы Si II $\lambda 4200$, наличие которой в спектре уже свидетельствует о его пекулярности. Прочерк в столбцах 2—11 означает отсутствие линий элемента в спектре, звездочкой отмечены случаи уверенного отождествления линии в спектре исследуемой звезды, в то время как в спектре нормальной звезды с таким же $Sp(B-V)$ W_λ этой линии равна

ТАБЛИЦА

HD	He I	K (Ca)	Si II	C II	Cr II, I	Sr II	Ba II	Mg II	Y II	$W_{\lambda, 4200}$	Тип покулярности	T_e	lg g
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
19805	0.4	1.0	1.0	—	1.0	1.0	—	1.0	1.0	0.02	B9p (He ↓)	10020	4.4
20135	—	0.4	0.6	—	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	—	A0p (Si, Ca ↓)	9080	3.6
21699	0.4	1.0	1.0	1.0	*	*	—	0.6	—	0.13	Bp (He, Mg ↓ λ 4200 Sr, Cr ↑)	17000	4.4
22136	0.7	1.0	1.0	1.0	—	—	—	1.0	—	—	B8p: (He ↓)	11530	4.2
22401	<0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.6	—	0.8	*	0.07	B9p (He, Mg ↓ λ 4200 Sr, Y ↑)	10480	4.2
204131	<0.5	1.0	1.0	—	1.8	2.0	3.0	1.0	1.2	—	B9p (He ↓ Sr, Cr, Eu, Y ↑)	10460	4.4
205073	1:	1.0	1.0	—	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	—	A0V	10120	4.4
205116	<0.3	1.0	1.0	—	1.0	—	—	1.0	—	—	B9p (He ↓)	9950	3.9
205117	1:	1.0	1.0	—	1.0	1.0	—	1.0	—	—	A0V	9520	4.3
205198	1:	1.0	1.0	—	1.0	1.0	—	1.0	—	—	A1V	8880	4.0
205331	1:	1.0	1.0	—	1.0	1.0	—	1.0	—	—	A0III	9020	3.2
107966	—	1.0	1:	—	1.0	1.0	—	1.0	1:	—	A1.5V	8550	3.7
108382	—	1.0	1:	—	1.0	1.0	1.0	1.0	—	—	A2.2V	8520	3.8
108651	—	1.0	1.0	—	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	—	A2Vp: (Cr ↑)	—	—
108662	<0.3	1.0	1.0	—	3.1	2.0	6.5	1.0	1.0	—	A0p (He ↓ Sr, Cr, Eu ↑)	9980	3.8
108945	—	1.4	1.0	—	1.6	2.5	1.5	1.1	1.0	—	A1p (Sr, Cr, Eu, Ca, Mg ↑)	8900	4.1

нулю. В 12-м столбце таблицы указаны типы пекулярности, определенные нами по совокупности значений p .

В последних столбцах даны эффективные температуры T_e и ускорения силы тяжести $\lg g$, полученные сравнением наблюдаемых характеристик $[W_\lambda(H_\gamma)]$, ширины контуров H_γ на глубинах 0.1, 0.2, 0.3, показателей цвета $(B-V)_0$ с теоретическими значениями этих величин, рассчитанными в сетке модулей Куруча [22]. В работах [3, 23] подробно рассмотрена методика определения T_e и $\lg g$, а также обоснована возможность применения, по крайней мере в первом приближении, моделей атмосфер нормальных звезд для определения параметров атмосфер пекулярных звезд. Для звезды HD 108651 с показателем цвета $B-V=0.21$ параметры атмосферы не определены, так как для поздних А-звезд водородные линии не чувствуют различий в светимости звезды.

В 7-м столбце табл. 1 приведены скорости вращения $v \sin i$, определенные нами в системе Слеттебака по полуширинам линии Mg II 4481. В последнем столбце этой таблицы даны для сравнения $v \sin i$ из каталога [24].

Основные результаты нашего количественного изучения пекулярных звезд в трех рассеянных скоплениях заключаются в следующем.

1. Для четырех звезд из М39 и двух звезд из Волос Вероники мы не подтвердили отмеченную в литературе пекулярность спектров. Число пекулярных звезд типа Вр, Ар составляет 11 % для М39, 14 % для α Персея и 18 % для скопления Волосы Вероники в области $B-V \leq 0.20$, т. е. для Sp раньше А5.

2. Следует отметить невысокую степень пекулярности основной части исследованных звезд.

3. Интересен факт отсутствия пекулярных звезд поздних типов пекулярности в скоплении α Персея с возрастом $2 \cdot 10^7$ лет, в то время как, например, членами ассоциации Sco—Cep, имеющей возраст несколько миллионов лет, являются звезды всех типов пекулярности [1].

В настоящее время на БТА выполняется программа измерения магнитных полей звезд, пекулярность которых подтверждена в нашем спектроскопическом исследовании.

Автор благодарен И. М. Копылову за полезные обсуждения этой работы и В. Е. Панчуку за помощь в наблюдениях.

Литература

1. Клочкова В. Г., Копылов И. М., Кумаигородская Р. Н. Пекулярные звезды в движущемся скоплении Скорпиона—Центавра. — Письма в АЖ, 1981, 7, с. 366—371.
2. Клочкова В. Г. Пекулярные звезды в Плеядах. — Сообщ. САО, 1982, 37, с. 73—80.
3. Клочкова В. Г., Копылов И. М. Пекулярные звезды в потоке Большой Медведицы. — Астрон. ж., 1984, 61, с. 136—142.
4. Клочкова В. Г., Копылов И. М. Пекулярные звезды в ассоциации Per OB2. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1984, 20, с. 3—10.
5. Mermilliod J. C. Catalogue of UBV photometry and MK spectral types in open clusters. — Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 1977, 24, p. 159—297.
6. Heckman O., Lubek K. Farben-Helligkeits-Diagramm des Bewegunghaufens um α Per. — Zeitschrift für Astrophys., 1958, 45, S. 243—263.
7. Fresneau A. Membership of the α Per cluster as determined by proper motion. — Astron. J., 1980, 85, p. 66—70.
8. McNamara B. J., Sanders W. L. Membership of M39. — Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 1977, 30, p. 45—62.
9. Trumpler R. J. The star cluster in Coma Berenices. — Lick. Obs. Bull., 1938, 18, p. 167—177.
10. Страйжис В. Л. Многоцветная фотометрия звезд. Вильнюс: Мокслас, 1977.
11. Straizys V., Kurilienė G. Fundamental stellar parameters derived from the evolutionary tracks. — Astrophys. and Sp. Sci., 1981, 80, p. 353—368.
12. Janes K., Adler D. Open clusters and galactic structure. — Astrophys. J. Suppl. Ser., 1982, 49, p. 425—446.
13. Nicolet B. Geneva photometric boxes. III. Distances and reddenings for 43 open clusters. — Astron. and Astrophys., 1981, 104, p. 185—197.
14. Холотов П. Н. Положение начальной главной последовательности для звезд с высоким содержанием металлов на диаграммах $(M_v, B-V)$, $(M_v, U-B)$ и $(U-B, B-V)$. — Астрон. ж., 1980, 57, с. 12—21.
15. Kraft R. P. Studies of stellar rotation. I. Comparison of rotational velocities in the Hyades and Coma clusters. — Astrophys. J., 1965, 142, p. 681—702.

16. A b t H. A. Spectral types in the α Persei cluster. — Publ. Astron. Soc. Pacific., 1979, 90, p. 692—696.
17. A b t H. A., L e v a t o H. Spectral types in the open cluster M39. — Publ. Astron. Soc. Pacific, 1976, 88, p. 222—223.
18. A b t H. A., L e v a t o H. Spectral types in the Coma Berenices cluster. — Publ. Astron. Soc. Pacific, 1977, 89, p. 29—30.
19. A b t H. A. The occurrence of abnormal stars in open clusters. — Astrophys. J., 1979, 230, p. 485—496.
20. К о п ы л о в И. М. Эквивалентные ширины линий поглощения в спектрах 109 звезд O5—B7. — Изв. КрАО, 1958, 20, с. 123—156.
21. К о п ы л о в И. М. Двумерная количественная спектральная классификация звезд спектральных классов B8—F2. — Изв. КрАО, 1960, 23, с. 148—173.
22. K u r c z R. L. Model atmospheres for G, F, A, B and O stars. — Astrophys. J. Suppl. Ser., 1979, 40.
23. К л о ч к о в а В. Г., К о п ы л о в И. М., П а н ч у к В. Е. К вопросу о применении моделей атмосфер для определения параметров горячих звезд. — Астрон. ж., 1983, 60, с. 1114—1119.
24. U e s u g i A. Revised Catalogue of Stellar Rotational Velocities. Department of Astronomy, University of Tokyo, Japan, 1979.

Поступила в редакцию 4 апреля 1983 г.