

МЕТАЛЛИЧНОСТЬ СКОПЛЕНИЯ χ PER

В. Г. Ключкова

По спектрам ОЗСП БТА методом моделей атмосфер определен химический состав 2-х А-сверхгигантов в рассеянном скоплении χ Per. Металличность этого скопления $[Fe/H]=-0.11$ оценена относительно А-звезд главной последовательности в рассеянных скоплениях.

By the model atmosphere method using the spectra obtained with MSS BTA the chemical composition for 2 A-supergiants in the open cluster χ Per is determined. The metallicity of this cluster $[Fe/H]=-0.11$ is estimated relative to the main sequence A-stars in the open clusters.

В проблеме исследования металличности галактического диска по-прежнему преобладают фотометрические методы (Шевелев и др., 1988), ориентированные на фотометрию F-карликов, эти методы позволяют исследовать околосолнечную окрестность. Фотометрические исследования металличности F-сверхгигантов менее надежны. Во-первых, для сверхгигантов невозможно прокалибровать фотометрические индексы металличности. Действительно, массивные сверхгиганты II-го типа населения давно проэволюционировали. Следовательно, калибровка индекса металличности по спектроскопическим определениям металличности должна выполняться на коротком рычаге значений металличности сверхгигантов диска. Но даже для калибровки индекса металличности звезд главной последовательности число спектроскопических определений металличности в некоторых температурных интервалах невелико (Копылов, 1985; Ключкова и Панчук, 1989). Трудности калибровки в интервале металличностей ($[Fe/H]=-0.4 - +0.4$), характерном для диска, видны, например, на рис. 2 работы Копылова (1985). Во-вторых, для сверхгигантов точность определения величины межзвездного поглощения принципиально более низкая, чем для звезд главной последовательности, так как для сверхгигантов понятие "линия нормальных показателей цвета" является более условным, чем для звезд ГП. В-третьих, отсутствие адекватных моделей атмосфер сверхгигантов снижает точность спектроскопических определений металличности.

Из оценок проникающей способности вариантов спектроскопических наблюдений, пригодных для применения метода моделей атмосфер, следует, что проблема исследования крупномасштабных вариаций металличности галактического диска должна решаться путем исследования звезд высокой светимости. К настоящему времени выполнены спектроскопические оценки радиального градиента металличности по спектрам

цефеид (подробнее см. в работе Клочковой и Панчука, 1991). Достаточно подробно исследована металличность ближайших рассеянных скоплений (Клочкова и др., 1989), Бесгаард и Фриль (1990). Спектроскопические оценки металличности удаленных рассеянных скоплений до сих пор не выполнены.

Таблица 1. Эквивалентные ширины в спектрах λ -сверхгигантов

λ , Элемент	W_λ (mÅ)		λ , Элемент	W_λ (mÅ)	
	HD14433	I HD14535		HD14433	I HD14535
3933.68 CaII*	900	1000	4387.93 HeI	34	50
4026.18 HeI	71	58	4394.06 TiIII	35	37
4071.74 FeI	33	23	4395.03 TiIII	137	135
4077.71 SrII	38	43	4395.85 TiIII	-	23
4120.81 HeI	13	19	4404.75 FeI	32	40
4122.64 FeII	91	84	4415.12 FeI	26	38
4128.05 SiII	196	237	4416.82 FeII	194	190
4130.88 SiII	193	228	4417.72 TiIII	74	65
4143.76 HeI	29	54	4443.80 TiIII	104	149
4163.64 TiIII	54	55	4447.72 FeII	-	18
4167.27 MgI	-	34	4450.49 TiIII	34	44
4171.90 TiIII	49	72	4468.49 TiIII	120	105
4178.86 FeII	225	272	4471.48 HeI	85	114
4184.90 FeII	12	25	4481.33 MgII	506	591
4202.03 FeI	22	-	4488.32 TiIII	115	117
4205.05 EuII	-	26	4491.40 FeII	133	152
4215.52 SrII	20	29	4501.26 TiIII	96	99
4222.22 FeI	8	-	4508.26 FeII	202	217
4224.18 FeI	49	35	4529.45 TiIII	19	26
4242.38 CrII	76	100	4554.03 BaII	39	15
4252.62 CrII	41	28	4555.02 CrII	88	103
4261.92 CrII	63	60	4558.66 CrII	195	220
4271.16 FeI	26	20	4563.76 TiII	102	90
4275.57 CrII	45	52	4571.97 TiII	122	136
4284.21 CrII	53	46	4588.22 CrII	174	210
4287.89 TiIII	24	21	4592.09 CrII	82	84
4289.72 CrI	-	33	4616.64 CrII	75	65
4290.22 TiIII	77	90	4618.83 CrII	139	152
4300.05 TiIII	145	161	4634.11 CrII	94	117
4301.93 TiIII	54	43	4702.98 MgI	20	11
4303.17 FeII	203	234	4713.20 HeI	39	34

* - межзвездная линия

В процессе исследования содержания гелия в атмосферах В-звезд, членов рассеянного скопления η и χ Per (Клочкова и Панчук, 1987), для 2-х сверхгигантов спектрального класса AI было получено по две хорошо уширенные спектрограммы. Ис-

пользован Основной звездный спектрограф БТА, диапазон $\lambda\lambda 3900-4900\text{Å}$, 9 Å/мм, фотоэмульсия Kodak IIaO. Спектры обработаны на фотометре в прямых интенсивностях. Список измеренных линий приведен в табл.1. Профили водородных линий даны в табл.2.

Таблица 2. Профили $r(\lambda)$ водородных линий H_δ и H_γ

$\Delta\lambda$ (Å)	HD14433		HD14535		$\Delta\lambda$ (Å)	HD14433		HD14535	
	H_δ	H_γ	H_δ	H_γ		H_δ	H_γ	H_δ	H_γ
0.0	0.69	0.67	0.72	0.62	5.0	0.04	0.05	0.02	0.02
0.5	0.40	0.50	0.45	0.45	6.0	0.03	0.04	0.01	0.01
1.0	0.30	0.35	0.25	0.26	8.0	0.01	0.02	0.00	0.00
2.0	0.18	0.19	0.13	0.13	10.0	0.00	0.01		
3.0	0.11	0.12	0.07	0.07	12.0		0.00		
4.0	0.07	0.08	0.04	0.04					

В качестве стандартной звезды взят сверхгигант α Cyg, находящийся в нашем спиральном рукаве. Мы использовали опубликованные списки эквивалентных ширин линий металлов (Баском, 1951). Для определения эквивалентных ширин линий водорода была получена спектрограмма с $D=28$ Å/мм. Кроме того, эквивалентную ширину линии H_γ мы оценили по β -индексу из каталога Филипа и др. (1976), используя калибровки, построенные при исследовании звезд в скоплениях (Клочкова, 1985; Клочкова и Панчук, 1990).

Разновидность метода моделей атмосфер, применяемая для анализа спектров, та же, что и в случае исследования А-звезд главной последовательности (Клочкова и др., 1985). Покраснение для достаточно удаленных (модуль расстояния скопления χ Per равен 11.6^m , Клочкова и Панчук, 1990) сверхгигантов определено из положения непроэволюционировавшей части ГП скопления: $E(B-V)=0.61^m$ (Фогт, 1971). Вычисленные показатели $(B-V)_0$ также использованы при определении эффективной температуры T_e и ускорения силы тяжести $\lg g$. С этой целью мы использовали сетку теоретических показателей цвета (Базер и Куруч, 1978), вычисленную для применяемой нами сетки моделей атмосфер Куруча (1979).

Особенности спектров сверхгигантов, не описываемые тем или иным теоретическим приближением, давно известны. Вначале, когда применялся метод кривой роста, были обнаружены отклонения, которые можно было интерпретировать как отклонения от бальмановской населенности уровней атомов и (или) как зависимость микротурбулентной скорости ξ_t от номера мультиплета. Затем, в результате ревизии шкалы сил осцилляторов, было показано, что часть этих отклонений была обязана неточностям определения сил осцилляторов для разных групп мультиплетов. Переход к применению метода моделей атмосфер также не устранил всех несоответствий между наблюдаемыми и теоретическими значениями эквивалентных ширин W . В частности, для того, чтобы содержания железа, определяемые по линиям с существенно различающимися W , совпадали, пришлось снова отказаться от одного значения ξ_t и ввести зависимость микротурбулентной скорости от оптической глубины (Вольф, 1971, 1972, 1973). Учитывая, что этот прием тесно связан с качеством описания верхних слоев атмосферы

той или иной моделью, мы отказались от использования сильных ($W > 140$ мА) линий. Поэтому микротурбулентная скорость определялась по группам слабых линий FeI, TiII и в дальнейших вычислениях была принята постоянной по всей глубине формирования всех исследуемых линий. Такое приближение оправдано, если нас интересует металличность звезды, а не вид всей кривой распространенности (во втором случае мы вынуждены определять содержание отдельных элементов только по сильным линиям). Вторым приближением считаем гипотезу об ионизационном равновесии для атомов железа. Это наиболее слабый момент в исследовании спектров сверхгигантов, поэтому он подлежит независимой проверке. На рис. 1 даны диаграммы $T_e - \lg g$ для всех исследуемых звезд, указано положение линий ионизационного равновесия, определенное с учетом всех линий FeI и FeII с $W < 240$ мА. Для α Cyg указано также положение линии ионизационного равновесия, определенное только по слабым линиям FeI и FeII ($W < 100$ мА), что позволяет оценить ошибки определения металличности, возникающие из-за невозможности описания W сильных линий FeII одним значением ξ_t .

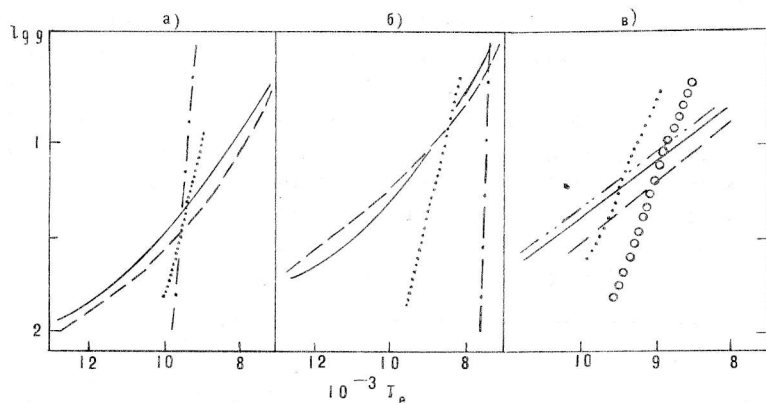


Рис. 1. Определение параметров атмосфер для сверхгигантов. а) HD14433; б) HD14535; в) HD197345 (α Cyg). Обозначения: — — — — — $W(H_\gamma)$, - - - - - $\Delta\lambda_H(\tau=0.9)$, - · - · - · - $(B-V)_0$, оооооооооо — изолиния ионизационного равновесия FeI и FeII по линиям с $W < 100$ мА, ········ — изолиния ионизационного равновесия по линиям FeI и FeII с $W < 240$ мА, - · - · - · - $W(H)$ по β -индексу.

В табл. 3 приведены параметры атмосфер и химический состав исследованных звезд. В последнем столбце указан средний химический состав A-звезд главной последовательности, входящих в состав близких рассеянных скоплений (Клочкова и Панчук, 1985). Напомним, что эти звезды также исследованы в синей области спектра, а при вычислениях химического состава использованы те же списки сил осцилляторов и та же сетка моделей атмосфер. Оценки химического состава, выполненные по линиям нейтральных атомов и ионов магния и хрома, сильнее различаются между собой для сверхгигантов, чем для звезд главной последовательности. Точность измерения узких линий в спектрах сверхгигантов выше, чем уширенных вращением линий в спектрах A-звезд ГП. Поэтому причину отмеченных различий химического состава мы видим в неточностях описания механизма уширения линий Mg и Cr при помощи параметра ξ_t . Аналогичные трудности возникают при интерпретации линий тяжелых элементов в спектрах сверхгигантов. В целом приходим к выводу, что анализ спектров A-сверхгигантов затруднен из-за отсутствия моделей атмосфер, вычисленных с уче-

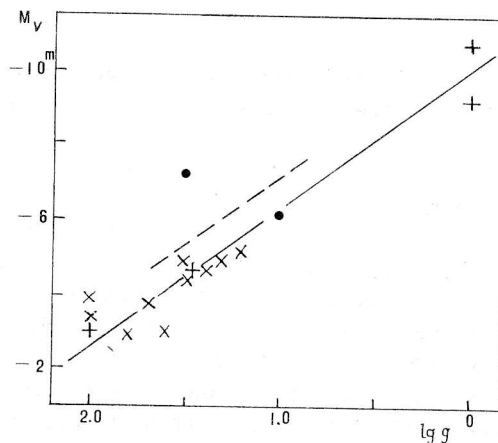
Таблица 3. Параметры атмосфер и химический состав A-звезд

Параметр	HD14433	HD14535	α Суг	AV в диске
Sp	A1Ia	A2Ia	A2Ia	-
B-V	0 ^m .58	0 ^m .72	0 ^m .09	-
U-B	0 ^m .02	0 ^m .11	-0 ^m .23	-
M_V	-7 ^m .17	-6 ^m .12	-6 ^m .50	-
T_e , K	9500	8500	9000	-
lgg	1.5	1.0	1.2	-
ζ_t , км/с	4.5	6.0	4.5	-
lg ϵ (MgI)	-3.70	-3.95	-3.49	-4.22
MgII	-	-	-4.51	-
SiIII	-4.39	-4.23	-3.72	-4.14
CaI	-	-	-5.45	-5.46
ScI	-	-	-8.98	-
TiIII	-7.13	-7.85	-7.15	-6.72
VII	-	-	-8.10	-
CrI	-	-5.86	-5.83	-6.15
CrII	-6.25	-6.56	-6.35	-6.27
FeI	-4.25	-4.78	-4.52	-4.40
FeII	-4.21	-4.79	-4.51	-4.40
SrII	-9.64	-10.36	-9.48	-8.90
BaII	-8.83	-10.06	-	-8.93

том отклонений от локального термодинамического равновесия. В частности, как следует из расчетов Филдуса и др. (1990), эффекты протяженной сферической атмосферы изменяют распределение температуры и давления, что сказывается на величине выходящего потока, значениях показателей цвета, эквивалентных ширинах линий и, в конечном счете, на определении химического состава. Поэтому в данной работе мы ограничились выводами относительно металличности исследуемых сверхгигантов. Из табл.3 следует, что средняя металличность скопления χ Per практически совпадает со средней металличностью рассеянных скоплений, находящихся вблизи Солнца.

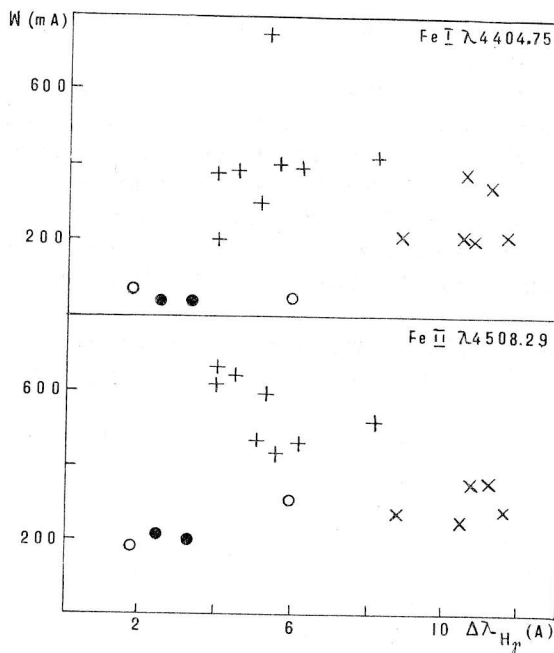
Принадлежность сверхгигантов к скоплению дает возможность сопоставить светимости M_V , определенные по диаграмме цвет-величина, с величинами lgg , определенными методом моделей атмосфер по спектроскопическим наблюдениям. Эти величины также указаны в табл.3, а на рис.2 мы сравниваем их с калибровкой светимостей F-сверхгигантов (Клочкова и Панчук, 1988). Пунктиром на рис.2 отмечено ожидаемое положение зависимости M_V - lgg для сверхгигантов A1, которое определено путем сдвига калибровки F-сверхгигантов на величину $\Delta M_V=0.8$, вычисленную по данным Страйжиса (1977). По величине lgg с применением калибровки, приведенной на рис.2 пунктиром, абсолютная величина для α Суг $M_V=-6^m.5$, что соответствует расстоянию от Солнца 320 пк.

Рис.2. Калибровка спектроскопических определений светимости сверхгигантов.
 Обозначения:
 + - F-сверхгиганты в скоплениях,
 x - цефеиды,
 ● - A-сверхгиганты в χ Per.
 — — — калибровка для F-сверхгигантов,
 - - - - калибровка для A-сверхгигантов.



Место исследованных звезд среди других сверхгигантов, для которых имеются надежные спектроскопические измерения, можно оценить, используя данные каталога эквивалентных ширин линий металлов в спектрах A и F-звезд разных светимостей (Клочкова и др., 1990). На рис.3 для A и F-сверхгигантов из каталога сопоставлены W избранных линий FeI и FeII с ширинами $\Delta\lambda$ профиля линии H_γ на заданном уровне интенсивности $r=0.9$. Сравнение положений отдельных звезд на рис.3 с их T_e , $lg g$, классами светимости и металличностями показало, что лучше всего с количественными характеристиками сверхгигантов из каталога Клочковой и др. (1990) коррелируют класс и подкласс светимости.

Рис.3. Сопоставление характеристик водородного спектра и спектра металлов для A и F-сверхгигантов разных подклассов светимости.
 Обозначения: o - A Ia, + - F Ia, x - F Ib; ● - сверхгиганты в χ Per.



Таким образом, впервые для скопления, принадлежащего внешнему соседнему спиральному рукаву, спектроскопически определено как содержание гелия, так и содержание металлов. Полученный ранее вывод о неизменности средних содержаний гелия и металлов от скопления к скоплению мы распространили и на заметно удаленную от

Солнца область. Кроме того, впервые для А-сверхгигантов реализована возможность сравнения спектроскопических и фотометрических определений светимости.

Литература

- Базер и Куруч (Buser R., Kurucz R. L.): 1978, *Astron. & Astrophys.*, 70, 555.
- Баском (Buscombe W.): 1951, *Astrophys. J.*, 114, 73.
- Бесгаард и Фриль (Boesgaard A. M., Friel E. D.): 1990, *Astrophys. J.*, 351, 467.
- Вольф (Wolf B.): 1971, *Astron. & Astrophys.*, 10, 383.
- Вольф (Wolf B.): 1972, *Astron. & Astrophys.*, 20, 275.
- Вольф (Wolf B.): 1973, *Astron. & Astrophys.*, 28, 335.
- Клочкова В. Г.: 1985, Канд. дисс., Нижний Архыз.
- Клочкова В. Г., Панчук В. Е.: 1985, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 20, 16.
- Клочкова В. Г., Панчук В. Е.: 1987, *Письма в астрон. ж.*, 13, 56.
- Клочкова В. Г., Панчук В. Е.: 1988, *Письма в астрон. ж.*, 14, 933.
- Клочкова В. Г., Панчук В. Е.: 1989, *Письма в астрон. ж.*, 15, 236.
- Клочкова В. Г., Панчук В. Е.: 1990, *Письма в астрон. ж.*, 16, 435.
- Клочкова В. Г., Панчук В. Е.: 1991, *Письма в астрон. ж.*, 17, 536.
- Клочкова В. Г., Панчук В. Е., Цымбал В. В.: 1985, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 19, 22.
- Клочкова В. Г., Мишенина Т. В., Панчук В. Е.: 1989, *Письма в астрон. ж.*, 15, 315.
- Клочкова В. Г., Панчук В. Е., Федорова О. В.: 1990, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 29, 84.
- Копылов И. М.: 1985, *Астрон. ж.*, 62, 348.
- Куруч (Kurucz R.L.): 1979, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 40, 1.
- Страйжис В. Л.: 1977, *Многоцветная фотометрия звезд*. Вильнюс, Мокслас.
- Шевелев Ю. Г., Марсаков В. А., Сучков А. А.: 1989, *Астрон. ж.*, 66, 317.
- Филдус и др. (Fieldus M. S., Lester J. B., Rogers C.): 1990, *Astron. & Astrophys.*, 230, 371.
- Филип и др. (Philip A. G. D., Miller T. M., Relyea L. J.): 1976, *Dudley Obs. Rep.*, No 12, 1.
- Фогт (Vogt N): 1971, *Astron. Astrophys.*, 11, 359.

Поступила в редакцию
18 января 1991 г.