

УДК: 524.312:524.388]:520.82

## ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КРАТНЫХ СИСТЕМ ТИПА ТРАПЕЦИИ РАННИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ КЛАССОВ, ВЫВЕДЕННЫЕ ИЗ *uvby* ФОТОМЕТРИИ. II

Г.Н.САЛУКВАДЗЕ, Г.Ш.ДЖАВАХИШВИЛИ

Поступила 25 октября 1997

Принята к печати 23 февраля 1998

Из электрофотометрических наблюдений в шестичервотной фотометрической системе *uvby* 50 компонентов 15-ти трапеций ранних спектральных классов были вычислены эффективные температуры  $T_{\text{eff}}$ , силы тяжести  $g$  на поверхности звезд, а также  $\text{Fe}/\text{H}$ . Результаты вычисления показали, что  $\lg T_{\text{eff}}$  компонентов трапеций лежит в интервале 4.03-4.54, а  $\lg g$  - 2.58-4.02. Используя результаты вычисления последовательностей эволюционной модели Хейлсена, были определены массы и возраст звезд с помощью атмосферных параметров  $T_{\text{eff}}$  и  $g$ . Все компоненты трапеций имеют массу в несколько раз больше солнечной и почти половина из них  $> .10$  солнечных масс. Более 70% компонентов имеют возраст  $< 40 \cdot 10^6$  лет.

1. *Введение.* В Абастуманской астрофизической обсерватории ведутся планомерные фотоэлектрические наблюдения кратных звезд типа Трапеции в шестичервотной фотометрической системе Стремгрена-Крауфорда. Предварительные результаты этих наблюдений были опубликованы в работах [1,2]. В нашей предыдущей статье [3], наряду с наблюдательными данными, приведены результаты определения абсолютных звездных величин и модулей расстояния. Показано, что все наблюденные 15 трапеций с большой вероятностью являются физическими системами. Этот результат не является неожиданным, поскольку для наблюдений были выбраны трапеции с главными звездами O-B2 спектральных классов, т.е. наиболее реальные трапеции [4,5].

В настоящей статье приведены результаты определения атмосферных параметров: эффективные температуры, силы тяжести на поверхности звезд, а также  $[\text{Fe}/\text{H}]$ . После вычисления вышеназванных атмосферных параметров были определены массы и возраст компонентов исследуемых нами трапеций.

2. *Определение атмосферных параметров  $\lg T_{\text{eff}}$ ,  $\lg g$  и  $[\text{Fe}/\text{H}]$ .* С использованием *uvby*-фотометрии было опубликовано множество калибровок эффективной температуры и силы тяжести. Беглый обзор большинства этих работ дан в нашей первой статье [1].

Эффективные температуры и силы гравитации на поверхности звезды мы определили подобно Переза и др. [6], исследовавших по  $uvby\beta$  фотометрии молодые скопления NGC 2244 и NGC 2264, членами которых являются звезды O-B спектральных классов. Кратные системы типа Трапеции являются очень молодыми объектами нашей Галактики. Для исследования были выбраны Трапеции с главными звездами O-B2 спектральных классов, т.е. наиболее реальные Трапеции. Результаты разделения компонентов Трапеций по спектральным группам, согласно критериям Стремгrena, показали, что они в основном принадлежат к группе "B" [3].

Поскольку, как главные звезды, так и некоторые компоненты выбранных нами трапеций принадлежат к O-B спектральным классам, то с целью более точной оценки  $\lg T_{\text{eff}}$  и  $\lg g$ , мы пользовались NLTE-моделью.

На рис.1 даны NLTE-сетки, построенные по Михаласу [7], и на них нанесены все компоненты O-B спектральных классов исследуемых Трапеций.

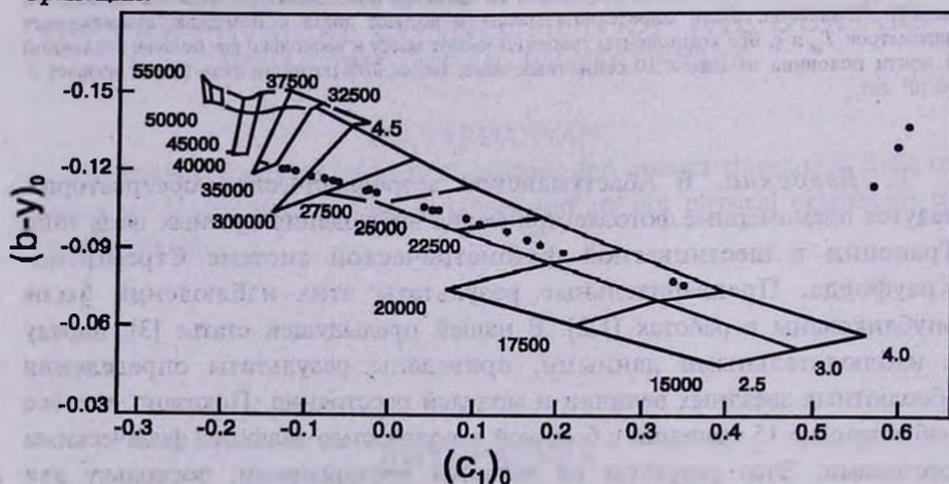


Рис.1. NLTE-сетки по Михаласу. Нанесены звезды равных спектральных классов.

Как видно из рис.1, три звезды: компонент "C" АБАО 2, компонент "C" АБАО 48, компонент "D" АБАО 51 расположены вне сетки, а компонент "B" АБАО 94 вообще расположен вне рисунка. Указанные звезды, по-видимому, являются пекулярными, поскольку для этих компонентов значения  $c_0$  лежат в интервале 0.590-0.843.

На рис.2 представлены теоретические фотометрические сетки для  $[M/H] = -2$  и температур  $5500 < T_{\text{eff}} < 8500\text{K}$ , построенные по данным, заимствованным из работы Лестера и др. [8].

На рис.2 нанесены компоненты Трапеций, спектральные классы которых принадлежат спектральному участку А и F Стремгrena [9].

Индексы  $[u - b]$  и  $[c_1]$  известны как отличные температурные индикаторы для звезд ранних спектральных классов. Индекс  $[u - b]$  был определен Крауфордом [10] как

$$[u - b] = (u - b) - 1.61(b - y).$$

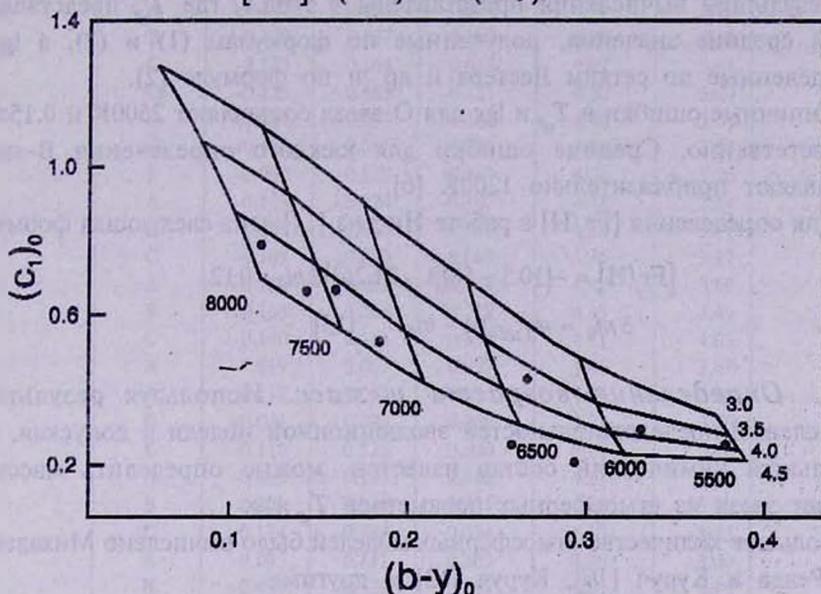


Рис.2. Сетки для  $[M/H] = -2$ . Нанесены звезды поздних спектральных классов.

Филип и Невел [11] с целью определения  $T_{eff}$  для В-звезд дают следующие зависимости:

$$\begin{aligned} \theta_e &= 1.567[u - b] + 0.255, & -0.^m080 \leq [u - b] \leq -0.^m050, \\ \theta_e &= 0.282[u - b] + 0.161, & -0.050 \leq [u - b] \leq 0.440, \\ \theta_e &= 0.202[u - b] + 0.196, & 0.440 \leq [u - b] \leq 1.100, \\ \theta_e &= 0.265[u - b] + 0.126, & 1.100 \leq [u - b] \leq 1.400, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\theta_e = 5040/T_{eff}$

На основе модели Куруча [12], Балона [13], используя индексы  $\beta$  и  $c_0$  вывел формулы для определения  $\lg T_{eff}$  и  $\lg g$ :

$$\begin{aligned} \lg T_{eff} &= 3.9036 - 0.4816[c] - 0.5290[\beta] - 0.1260[c]^2 + \\ &+ 0.0924[\beta][c] - 0.4013[\beta]^2, \\ \lg g &= 5.9046 - 3.2262[c] + 4.0883[\beta] - 0.5383[c]^2 - 0.2774[\beta][c] - 0.0007[\beta]^2, \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$[\beta] = \lg(\beta - 2.500),$$

$$[c] = \lg(c_0 + 0.200).$$

Для В-звезд были вычислены средние значения  $T_{\text{eff}}$  и  $\lg g$ .

Результаты вычисления представлены в табл.1, где  $T_{\text{eff}}$  представляет собой средние значения, полученные по формулам (1) и (2), а  $\lg g$  - определенные по сеткам Лестера и др. и по формуле (2).

Типичные ошибки в  $T_{\text{eff}}$  и  $\lg g$  для О-звезд составляют 2500К и 0.15dex, соответственно. Средние ошибки для каждого определения В-звезд составляют приблизительно 1200К [6].

Для определения [Fe/H] в работе Нисена [14] дана следующая формула:

$$[\text{Fe}/\text{H}] = -(10.5 + 50(\beta - 2.626))\delta m_0 + 0.12,$$

$$\delta m_0 = m_{1, \text{sd}}(\beta) - m_0 \quad [15]$$

3. *Определение возраста и масс.* Используя результаты вычислений последовательностей эволюционной модели и допуская, что начальный химический состав известен, можно определить массу и возраст звезд из атмосферных параметров  $T_{\text{eff}}$  и  $g$ .

Большое количество атмосферных моделей было вычислено Михаласом [7], Релеа и Куруч [16], Куруч [12] и другими.

Пионерские работы в области вычислений эволюционных моделей для звезд спектрального класса В главной последовательности диаграммы Герцшпрунга-Рессела были выполнены более тридцати лет назад. Классическая работа со ссылками на ранние исследования была опубликована Келсолом и Стремгеном [17], которые вычислили последовательности эволюционной модели звезд главной последовательности диаграммы Герцшпрунга - Рессела для следующих значений  $\lg M/M_0$ : 0.20, 0.25, 0.45, 0.65, 0.85.

Вычисления для каждой массы были проведены для шести начальных химических составов:  $(X, Y, Z) = (0.60, 0.38, 0.02)$ ,  $(0.60, 0.37, 0.03)$ ,  $(0.60, 0.36, 0.04)$ ,  $(0.70, 0.28, 0.02)$ ,  $(0.70, 0.27, 0.03)$ ,  $(0.70, 0.26, 0.04)$ , где  $X, Y, Z$  представляют собой содержание водорода, гелия и тяжелых элементов, соответственно. Эти значения начальных химических составов были выбраны на основе данных, полученных в результате тщательных исследований и долгих дискуссий в вопросе об относительном содержании  $X, Y, Z$  в звездах населения I типа.

Еще в 60-годах многие исследователи, сравнивая относительное содержание металлов к содержанию водорода на Солнце, с одной стороны, и звезд населения I типа - с другой, считают, что для молодых звезд населения I типа для  $Z$  целесообразно принять значения в интервале от 0.02 до 0.04.

Таблица 1

## ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

№. АБАО	Комп.	$(b - y)_0$	$(m_1)_0$	$(c_1)_0$	$\lg T_{\text{eff}}$	$\lg g$	[Fe/H]
2	A	-0.122	0.094	-0.092	4.46	3.50	
	B	-0.100	0.137	0.160	4.28	3.50	
	C	-0.133	0.164	0.618	4.12	3.61	
8	AB	-0.125	0.085	-0.131	4.50	3.60	
	C	-0.124	0.093	-0.115	4.48	3.55	
	D	-0.125	0.065	-0.131	4.54	3.60	
34	E	-0.090	0.129	0.249	4.24	3.25	
	A	-0.123	0.024	-0.107	4.48	3.54	
	D	-0.109	0.046	0.060	4.38	3.17	
48	C	-0.109	0.076	0.062	4.36	3.17	
	A	-0.120	0.062	-0.074	4.47	3.50	
	B	-0.103	0.065	0.129	4.33	3.49	
51	C	-0.140	0.161	0.630	4.11	4.02	
	A	-0.119	0.067	-0.057	4.46	3.47	
	B	-0.117	0.053	-0.035	4.44	3.35	
62	D	-0.081	0.093	0.359	4.21	3.60	
	E	-0.118	0.125	0.590	4.14	3.60	
	A	-0.095	0.103	0.202	4.27	3.55	
94	B	0.308	0.130	0.225	4.24	3.62	-0.485
	C	0.174	0.184	0.684	4.10	3.83	
	A	-0.095	0.111	0.203	4.26	3.60	
313	B	-0.434	0.320	0.843	4.03	4.19	
	C	-0.118	0.836	-0.041	4.03	4.00	
	AB	-0.129	0.143	-0.172	4.46	3.70	
316	C	-0.115	0.112	-0.004	4.38	3.35	
	D	-0.080	0.123	0.370	4.20	3.70	
	A	-0.137	0.257	-0.242	4.36	3.75	
348	B	-0.092	0.101	0.228	4.26	3.50	
	C	-0.115	0.562	-0.007	4.17	3.30	
	D	-0.115	0.107	-0.003	4.38	3.30	
356	E	-0.097	0.124	0.185	4.27	3.15	
	F	-0.122	0.099	-0.099	4.45	3.05	
	A	-0.117	0.092	-0.035	4.43	3.34	
359	B	0.131	0.182	0.811	4.06	3.84	
	C	0.345	0.116	0.309	4.18	2.58	-1.020
	A	-0.108	0.089	0.073	4.36	3.45	
363	B	0.272	0.153	0.268	4.21	3.78	-0.103
	C	0.392	0.318	0.268	4.10	2.92	1.241
	A	-0.123	0.052	-0.103	4.46	3.50	
387	B	0.281	0.136	0.443	4.16	3.18	-0.340
	C	0.636	0.461	0.238	4.12	-	
	A	-0.125	0.073	-0.128	4.51	3.65	
396	C	-0.118	0.060	-0.043	4.45	3.30	
	D	-0.119	0.074	-0.056	4.45	3.50	
	A	-0.114	0.078	0.006	4.40	3.61	
396	B	-0.105	0.095	0.112	4.32	3.50	
	C	0.225	0.206	0.447	4.14	3.11	0.462
	A	-0.108	0.083	0.080	4.35	3.41	
396	B	0.199	0.151	0.542	4.14	3.75	-
	C	0.265	0.159	0.470	4.14	3.30	-0.034

Многие исследователи при определении возраста пользуются моделями звездной эволюции, вычисленными Хейлесеном и др. [18] для звезд населения I типа.

Модель Хейлесена и др. охватывает верхнюю полосу звезд главной последовательности до  $10M$ . Вычисления проведены для следующих химических составов:

$$(X, Y, Z) = (0.70, 0.28, 0.02), (0.70, 0.27, 0.03) \text{ и } (0.60, 0.38, 0.02).$$

Длина перемещения во всех трех случаях равна  $L = 1.5H_{\odot}$ .

После вышеупомянутой работы Хейлесена и др. были опубликованы три статьи Хейлесена [19-21], в которых рассматриваются разнообразные аспекты звездной эволюции. В статье [19] даны калибровки для 10 химических составов и для двух значений длины перемешивания. Для каждого выбранного химического состава и длины перемешивания даны калибровки с целью определения массы звезд полосы главной последовательности и области субгигантов диаграммы Гецшпрунга-Рессела. В статье [19] даны две таблицы и четыре вида диаграмм.

Зная  $\lg T_{\text{eff}}$  и  $\lg g$ , и используя диаграммы, рисунки и таблицы, приведенные в работах [18-20], легко можно определить массу и возраст звезд.

Результаты определения масс и возрастов компонентов исследуемых нами Трапеций приведены в табл.2.

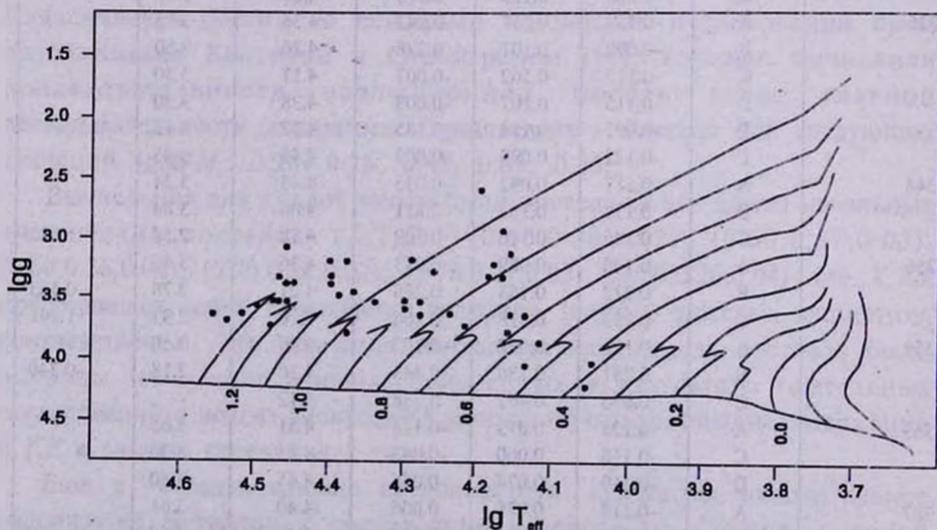


Рис.3. Эволюционные треки по Хейлесену для химического состава  $(X, Z) = (0.70, 0.02)$ . Нанесены программные звезды.

Таблица 2

## МАССЫ И ВОЗРАСТЫ КОМПОНЕНТОВ ТРАПЕЦИЙ

№. АБАО	Комп.	$M_{\text{эл}}$	BC	$M/M_0$	Возраст ( $10^6$ лет)
2	A	-6.810	-2.850	>10	<10
	B	-3.242	-1.862	6.76	20
	C	-0.924	-0.901	4.57	100
8	AB	-8.159	-3.029	>10	<10
	C	-7.914	-2.914	>10	<10
	D	-6.777	-3.257	>10	<10
34	E	-2.840	-1.620	6.76	30
	A	-7.563	-2.873	>10	<10
	D	-4.345	-2.165	9.77	<10
48	C	-4.391	-2.171	10.00	<10
	A	-6.691	-2.711	>10	<10
	B	-3.045	-1.965	6.76	<10
51	C	-0.302	-0.841	3.63	100
	A	-5.755	-2.695	>10	<10
	B	-6.615	-2.425	>10	<10
62	D	-2.062	-1.372	6.45	50
	E	-1.397	-0.947	3.98	100
	A	-3.856	-1.696	7.58	25
94	B	4.243	-1.617	6.92	40
	C	2.373	-0.787	3.09	150
	A	-4.948	-1.588	7.41	25
313	B	0.829	-0.491	2.75	200
	C	-	-	7.08	40
	AB	-10.742	-2.852	>10	<10
316	C	-5.596	-2.376	>10	<10
	D	-3.463	-1.293	7.08	40
	A	-	-	>10	<10
348	B	-3.516	-1.646	7.41	30
	C	-	-	-	30
	D	-6.103	-2.303	-	<10
	E	-3.655	-1.765	7.02	30
	F	-8.425	-2.565	>10	<10
	A	-	-	>10	<10
356	B	2.155	-0.565	3.24	150
	C	3.187	-1.243	-	60
	A	-	-	>10	<10
359	B	4.101	-1.569	5.89	30
	C	-3.691	-1.419	-	80
	A	-	-	>10	<10
363	B	2.241	-1.169	>10	125
	C	-0.276	-0.836	3.24	<10
	A	-7.914	-3.054	>10	<10
387	C	-5.612	-2.612	>10	<10
	D	-5.729	-2.689	>10	<10
	A	-5.889	-2.279	>10	<10
396	B	-3.415	-2.015	8.32	10
	C	2.019	-1.151	3.98	125
	A	-4.756	-2.056	>10	<10
396	B	-4.743	-1.023	3.31	125
	C	2.113	-1.137	-	50

Зависимость количества компонентов от массы и возраста дана в табл.3.

Таблица 3

### ЗАВИСИМОСТЬ КОЛИЧЕСТВА КОМПОНЕНТОВ ОТ МАССЫ И ВОЗРАСТА

$M/M_{\odot}$	Количество компонентов	Возраст $10^4$ лет	Количество компонентов
2.5-5.0	9	<10	22
5.0-8.0	12	10-20	4
8.0-10.0	3	20-40	10
>10	21	40-100	8
Не определяется	5	100-250	6
Всего	50	Всего	50

Для более наглядного представления о массах наших программных звезд, по данным Хейлесена мы построили эволюционные треки для химического состава  $(X, Z) = (0.70, 0.02)$  в диаграмме  $\lg T_{\text{eff}}$  и  $\lg g$  (рис.3).

Точность определения возрастов звезд ранних спектральных классов в зависимости от ошибок наблюдений была обсуждена Келсолом и Стремгеном [17]. Они нашли, что фотозлектрические наблюдения в системе  $uvby\delta$  для В-звезд дают среднюю вероятную ошибку определения возраста, равную 4%. Хейлесен и др. [18] для А и F - звезд получили такую же точность. К этой случайной ошибке добавляется гораздо большая систематическая ошибка из-за неопределенности в калибровке температуры. Для  $\Delta \lg T_{\text{eff}} = 0.01$  систематическая ошибка в определении возраста достигает 9%. Для верхней полосы главной последовательности минимальная вероятная ошибка определения возраста достигает 12%.

Учитывая ошибки фотозлектрических наблюдений в  $uvby\delta$ -системе и калибровках  $\lg T_{\text{eff}}$  и  $\Delta M_{\text{bol}}$ , величина общей ошибки в определении масс оценивается 7% [18].

4. **Выводы.** Результаты вычисления  $\lg T_{\text{eff}}$  и  $\lg g$  показали, что их значения лежат в интервалах 4.03-4.54 и 2.58-4.02, соответственно. Все компоненты Трапеций имеют массу, в несколько раз больше солнечной и почти половина из них >10 солнечных масс. Более 70% компонентов имеют возраст <  $40 \cdot 10^4$  лет.

Абастуманская астрофизическая  
обсерватория, Грузия

PHYSICAL PARAMETRES OF EARLIER SPECTRAL CLASSES TRAPEZIUM TYPE MULTIPLE SYSTEMS DERIVED FROM  $uvby\beta$  PHOTOMETRY. II

G.N.SALUKVADZE, G.SH.JAVAKHISHVILI

On the basis of electrophotometrical observations of six-colour photometric system  $uvby\beta$  effective temperatures  $T_{\text{eff}}$ , gravitational forces on the stellar surface  $g$  and  $[\text{Fe}/\text{H}]$  were calculated for 50 components of 15 trapezia of early spectral classes. The results of calculation showed that  $\lg T_{\text{eff}}$  of trapezia components are within the interval 4.03–4.54,  $\lg g - 2.58$ –4.02. Using the evolutionary model sequences calculated by Hejlesen et al the stellar masses and ages are determined by means of atmospheric parametres  $T_{\text{eff}}$  and  $g$ . All components have masses several times more than solar masses and almost half of them  $>10$  of solar masses. More then 70% of components have age  $< 40 \cdot 10^6$  years.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Г.Н.Салуквадзе, Г.Ш.Джавахишвили, Бюлл. Абастуман. астрофиз. обсерв., 66, 45, 1988.
2. G.N.Salukvadze, G.Sh.Javakhishvili, Astron. Nachr., 316, 275, 5, 1995.
3. Г.Н.Салуквадзе, Г.Ш.Джавахишвили, Астрофизика, 40, 559, 1997.
4. В.А.Амбарцумян, Сообщ. Бюракан. обсерв., 15, 3, 1954.
5. Г.Н.Салуквадзе, Астрофизика, 14, 57, 1978.
6. M.R.Perez, M.D.Joner, P.S.The, B.E.Westerlund, Publ. Astron. Soc. Pacif, 101, 636, 195, 1989.
7. D.Michalas, Astrophys. J., 176, 139, 1972.
8. J.B.Lester, R.O.Gray, R.W.Rurucz, Astrophys. J. Suppl. Ser, 61, 509, 1986.
9. B.Strömngren, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 4, 433, 1966.
10. D.L.Crawford, Problems of Absolute Magnitudes and Temperatures of Stars, 93, 1973.
11. A.G.D.Philip, B.Newell, Dudley Observ. Rep., 9, 161, 1975.
12. R.L.Kurucz, Astrophys. J. Suppl. Ser., 40, 1, 1979.
13. L.A.Balona, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 211, 973, 1984.
14. P.E.Nissen, Astron. Astrophys., 199, 146, 1988.
15. D.L.Crawford, Astron. J., 80, 955, 1975.
16. L.I.Relyae, R.L.Kurucz, Astrophys. J. Suppl. Ser., 37, 45, 1978.
17. T.Kelsall, B.Strömngren, Vistas in Astronomy, 8, 159, 1966.

18. *P.M.Hejlesen, H.E.Iorgensen, E.Oduzen, Petersen, L.R.Oucke*, Proc. IAU Coll., **17**, 1972.
19. *P.M.Hejlesen*, Astron. Astrophys., **84**, 135, 1980.
20. *P.M.Hejlesen*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., **69**, 251, 1987.
21. *P.M.Hejlesen*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., **39**, 347, 1980.