

СПЕКТРОСКОПИЯ В И Ве-ЗВЕЗД В РАССЕЯННЫХ  
ЗВЕЗДНЫХ СКОПЛЕНИЯХ NGC 6871 И NGC 6913С.Л.МАЛЬЧЕНКО<sup>1,2</sup>, А.Е.ТАРАСОВ<sup>1,2</sup>

Поступила 7 ноября 2008

Принята к печати 11 февраля 2009

В работе исследуется популяция В и Ве-звезд в молодых относительно бедных, рассеянных звездных скоплениях NGC 6871 и NGC 6913. По спектрам высокого разрешения исследована линия H $\alpha$  одиннадцати звезд на предмет выявления эмиссии. В скоплении NGC6871 приведены эмиссионные профили трех звезд, одна из которых является известной WR-звездой, Ве-звезда BD +35°3956 демонстрирует переход от В к Ве фазе. Спектры семи В-звезд не показали следов эмиссии в линии H $\alpha$ . Ве-звезда V:322 Cyg в скоплении NGC 6913 демонстрировала в период наших наблюдений сильный эмиссионный профиль линии H $\alpha$  с значительной переменностью интенсивности и эквивалентной ширины. Спектры умеренного разрешения, семи звезд в скоплении NGC 6871 в области длин волн 4420-4960 Å и десяти звезд в спектральной области 4050-5100 Å в скоплении NGC 6913, позволили нам произвести спектральную классификацию и оценить  $T_{\text{eff}}$  и  $\log g$  ряда В и Ве-звезд. Найдено, что три звезды не являются членами скоплений NGC 6871 и NGC 6913.

Ключевые слова: *звезды:спектры - звездные скопления NGC 6871, NGC 6913*

1. *Введение.* В начале 80-х годов прошлого века было показано, что в рассеянных звездных скоплениях с возрастом 14-25 млн лет присутствует повышенное содержание Ве-звезд [1]. Это, возможно, указывает на то, что Ве феномен возникает у относительно быстровращающихся В-звездах при их отходе от Главной последовательности [2].

Обычно к Ве-звездам относят одиночные объекты вблизи Главной последовательности, у которых наблюдается хотя бы одна эмиссионная линия, обычно это линия H $\alpha$ . Эмиссионные линии могут возникать вследствие ряда причин, выявление которых затруднено, в частности, из-за быстрого вращения изучаемых объектов. Однако обнаружено, что многие Ве-звезды являются двойными объектами, в состав которых могут входить горячие субкарлики, либо нейтронные звезды [3,4], т.е. системы, прошедшие стадию активного обмена массой и угловым моментом.

К Ве-звездам эволюционно примыкают горячие сверхгиганты, в чьих спектрах также наблюдаются эмиссионные линии. Тем не менее, механизм формирования их оболочек существенно иной, а именно звездный ветер, ускоряемый излучением, чья структура близка к сферической и, следовательно, профили эмиссионных линий часто имеют ярко выраженные P Cyg профили.

В случае изучения популяции Ве-звезд в том или ином рассеянном звездном скоплении с возрастом менее 25 млн лет могут наблюдаться все три перечисленные группы объектов. А значительная переменность экстинкции на луче зрения и зачастую невозможность получения спектров высокого разрешения и ряд других причин, сильно усложняют точное определение их эволюционного статуса.

Таким образом, для понимания причин заметного увеличения количества Ве-звезд в скоплениях определенного возраста, помимо детального фотометрического исследования и спектроскопии низкого разрешения, требуется исследовать объекты на предмет их двойственности и структуры эмиссионных профилей, т.е. получения продолжительных спектральных наблюдений умеренного и даже высокого разрешения.

В данной работе исследуются оптические спектры В и Ве-звезд в относительно бедных рассеянных звездных скоплениях NGC 6871 и NGC 6913. Целью работы было изучить спектральную переменность профилей эмиссионной линии  $H\alpha$  у известных Ве-звезд и обнаружить возможные новые Ве-звезды со слабой эмиссией в линии  $H\alpha$  среди В-звезд скоплений. Дополнительно была поставлена задача определения основных физических параметров В и Ве-звезд по спектрам умеренного разрешения в области длин волн 4400-4960 Å.

Скопление NGC 6871 принадлежит ассоциации Суг OB3 [5]. Оно включает девять звезд ярче  $10^m$  и имеет в своем ядре несколько массивных объектов [6], один из них - звезда типа WR, несколько сверхгигантов ранних спектральных классов и некоторое количество спектрально-пекулярных объектов. Тот факт, что скопление NGC 6871 погружено в темные облака клочковатой структуры, может означать, что возможно некоторые более покрасневшие и слабые массивные звезды все еще остаются незарегистрированными.

Фотометрические исследования скопления NGC 6871 опубликованы в нескольких работах [7-13]. Спектроскопические обзоры звезд даны в статьях [5,6,14,15], а спектральная классификация выполнена в [10,13,15,16]. Списки обнаруженных голубых гигантов даны в [1], а Ве-звезд - в [1,17].

Молодое скопление NGC 6913 (M29) расположено в ассоциации Суг OB1 вблизи яркой звезды  $\gamma$  Суг. Скопление богато яркими звездами, насчитывается около 40 В-звезд, включая одну или две Ве-звезды. В [14] найдено, что пять членов скопления - двойные системы. Спектральные наблюдения звезд скопления выполнены в работах [14,15,18]. Фотометрические данные изучались в [7,13,19-24]. Спектральная классификация выполнена в работах [13,19,21], а список Ве-звезд представлен в [17].

**2. Наблюдательный материал.** Спектральные наблюдения в области линии  $H\alpha$  В и Ве-звезд рассеянных звездных скоплений NGC 6871 и NGC 6913 проводились в течение 1998-2002гг. на 2.6-м телескопе

КрАО. В качестве приемника излучения использовалась матрица Photometrics SDS-9000 с ПЗС ЕЕV 15-11 размером 1024x256 элементов. Наблюдения проводились во втором порядке дифракционной решетки с обратной линейной дисперсией  $3 \text{ \AA}/\text{мм}$  и разрешением 30000. При каждом наблюдении регистрировался участок спектра длиной  $60 \text{ \AA}$ , центрированный на линию  $\text{H}\alpha$ . Длительность отдельных экспозиций составляла 30-100 мин в зависимости от погодных условий и яркости объекта. Отношение сигнал/шум для большинства спектров около 100. Получено 17 спектров девяти звезд скопления NGC 6871 и 5 спектров двух звезд в скоплении NGC 6913.

Последующая редукция спектрограмм проводилась с использованием пакета программ SPE [25] по стандартной методике, которая включала в себя учет фона неба и уровня темнового тока, деление на плоское поле и нормировку к локальному континууму. Привязка к шкале длин волн осуществлялась по спектру сравнения лампы с торий-аргоновым наполнением с привязкой нуля-пункта шкалы длин волн к барцентру Солнечной системы, средняя ошибка привязки не превышала 1 км/с.

Таблица 1

### ОСНОВНЫЕ ИЗМЕРЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОФИЛЯ ЛИНИИ $\text{H}\alpha$ ДЛЯ В И Ве-ЗВЕЗД СКОПЛЕНИЙ NGC 6871 И NGC 6913

№ звезды (по [7])	JDh 2450000+	$W_\lambda$ ( $\text{\AA}$ )	FWHM (км/с)	$V_r$	$V_r$ $V_r(\text{Be})$	Sp
<b>NGC 6871</b>						
1	HD190918	941.455	459	10		WN4+09.5I[15]
3	+35°03955	941.470	229	-21		B0.7Iab[15]
4	HD190864	929.560	377	-60:		O6.5III(f)[15]
		941.516	379	-54:		
5	HD277634	941.492	238	-23		B0.2II[15]
6	HD227611	929.477	331	-46	4	B1e[15]
		1293.521	336	-39	2	
		2096.428	337	-43	8	
		2395.491	340	-47	8	
7	HD227586	929.513	223	-6		B0V[12]
		961.567	200	-10		
		1293.542	183	7		
8	+35°03956	940.521	301	-		B0.5Ve[15]
		1294.512	330	-		
		2096.459	-	-168	172	
9	HD227630	961.590	65	-38		G2 pec[12]
11	HD227621	961.613	249	-33		B1.5 IV[13]
		1294.552	323	-120		
<b>NGC 6913</b>						
5	HD229221	1420.461	216	-30		B0.2PIe[15]
		1771.410	211	-18		
		2395.530	235	-44	2	
6	HD229227	1420.485	401	-42		O9.7PII[15]
		2395.561	406	-57		

ОСНОВНЫЕ ИЗМЕРЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОФИЛЯ ЛИНИИ  
H $\beta$  ДЛЯ В И Be-ЗВЕЗД СКОПЛЕНИЙ NGC 6871 И NGC 6913

Номер звезды (по [7])	JDh 2450000+	EW (Å)	$T_{\text{eff}}$ K	log g	$V \sin i$ (км/с)	Sp	
<b>NGC 6871</b>							
4	HD190864	1709.464	2.96	$21500 \pm 2000$	3.0	$200 \pm 50$	O6.5III(ф)[15]
5	HD277634	1692.441	3.12	$21000 \pm 2000$	3.0	$100 \pm 50$	B0.2II [15]
6	HD227611	1692.374	-7.30	-	-	-	B1Be[15]
7	HD227586	1693.371	4.24	$21000 \pm 1000$	3.5	$150 \pm 50$	B0V[12]
8	+35°03956	1692.406	3.6	$22000 \pm 2000$	3.5	$250 \pm 100$	B0.5Ve[15]
9	HD227630	1709.503	4.49	-	-	-	G2 pec[12]
11	HD227621	1709.389	5.27	-	-	-	B1.5 IV[13]
<b>NGC 6913</b>							
1	HD194378	1719.327	7.43	-	-	-	F0III[18]
		4666.403	9.28				
2	HD229239	1719.343	3.49	$20500 \pm 1500$	3.0	$150 \pm 50$	B0.2III[15]
		4640.398	2.85				
		4666.465	2.33				
		4667.511	2.82				
		4668.338	2.20				
		4669.409	2.60				
		4670.352	2.68				
3	HD229238	4640.328	2.84	$20500 \pm 1500$	3.0	$100 \pm 50$	B0.2 II[15]
		4666.506	2.71				
		4667.537	2.64				
4	HD229334	1708.508	3.18	$20500 \pm 1500$	3.0	$200 \pm 100$	O9II[15]
		4640.365	2.83				
		4668.373	2.98				
		4669.370	2.85				
		4670.479	2.62				
5	HD229221	1693.444	-	-	-	-	B0.2IIPe[15]
		1719.407					
		4666.432					
		4667.400					
6	HD229227	1693.410	2.04	$21000 \pm 1500$	3.0	$250 \pm 50$	O9.7III[15]
		1719.506	2.09				
		4641.490	2.90				
		4667.457	2.87				
		668.438	2.79				
		4669.561	2.82				
		4670.538	2.77				
7	HD229253	1719.374	9.28	$17000 \pm 2000$	4	$100 \pm 50$	B4II[18]
		4669.532	8.35				
		4670.420	8.34				
8	+38°4067	1719.440	4.68	$20500 \pm 1500$	3.5	$100 \pm 50$	B0III[18]
9	HD229223	1719.477	13.65	-	-	-	A4V[14]
12	-	4688.493	5.09	$21000 \pm 1500$	4.0	$200 \pm 50$	B2V[14]
		4669.528	5.02				
		4670.515	3.3				

Спектральная область в районе линии  $\text{H}\alpha$  богата теллурическими линиями. Для получения более достоверных оценок основных параметров профиля линии  $\text{H}\alpha$  их необходимо убрать из наблюдаемого спектра. С этой целью нами получен ряд спектров ярких звезд с большими скоростями вращения и на разных зенитных расстояниях. Удаление теллурических линий из наблюдаемых спектров состояло в интерполяции наиболее подходящих по интенсивности линий атмосферы. Из наблюдаемого спектра, таким образом, вычитался теллурический спектр с интенсивностью линий соответствующей моменту наблюдений.

Профиль линии  $\text{H}\alpha$  имеет широкие крылья, поэтому узкий спектральный диапазон наблюдений ( $60 \text{ \AA}$ ) не позволил провести достоверный континуум по синему и красному участку крыльев линии  $\text{H}\alpha$ . Как следствие, неопределенности в проведении континуума в некоторых случаях достигали 5%.

Для всех спектров определялись эквивалентные ширины профиля линии  $\text{H}\alpha(W_\lambda)$ , ширина линии  $\text{H}\alpha$  на середине интенсивностей (FWHM) и лучевые скорости линии  $V_r$ . Результаты измерений профилей линии  $\text{H}\alpha$  у наблюдаемых нами В и Ве-звезд в данных скоплениях представлены в табл.1. В случае двухкомпонентных эмиссионных профилей у Ве-звезд в таблице приводятся лучевые скорости эмиссионных пиков  $V_v$  и  $V_k$ .

Дополнительно к наблюдениям в линии  $\text{H}\alpha$  были проведены спектральные наблюдения В и Ве-звезд в области длин волн  $4420\text{-}4960 \text{ \AA}$ . Спектры были получены в фокусе Несмита 2.6-м телескопа ЗТШ, с умеренным разрешением  $2.5 \text{ \AA}$  и отношением сигнал-шум более 100. В качестве приемника излучения использовалась матрица ASTRO-550 размером  $580 \times 520$  элементов. В указанную спектральную область попадает линия  $\text{H}\beta$ , ряд линий  $\text{HeI}$  ( $4471, 4713$  и  $4921 \text{ \AA}$ ) и некоторые линии металлов. Было получено 10 спектров восьми звезд в скоплении NGC 6913 и 6 спектров для шести звезд, членов скопления NGC 6871. Дополнительно в 2008г. на этом же спектрографе, получено 26 спектров для восьми звезд скопления NGC 6913 в более широком диапазоне  $4050\text{-}5100 \text{ \AA}$ . Редукция спектрограмм, полученных в фокусе Несмита, проводилась при помощи той же методики, что и для профилей линии  $\text{H}\alpha$  с использованием пакета программ SPE [25]. Для всех спектров в данной области измерены эквивалентные ширины линий  $\text{H}\beta$  (см. табл.2).

3. *Общая характеристика скоплений.* NGC 6871 и NGC 6913 являются достаточно изученными скоплениями. Был сделан ряд оценок возраста, покраснения и расстояния до них. Тем не менее, наблюдаются существенные расхождения в данных, полученных различными авторами на основе различных методов. Лучше всего возникающие проблемы при определении фундаментальных параметров скоплений демонстрируют диаграммы цвет - звездная величина ( $B - V, V$ ), построенные по фотомет-

рическим данным [13] и представленные на рис.1 и рис.2 для NGC 6871 и NGC 6913, соответственно.

Как видно из рис.1, в скоплении NGC 6871 наблюдается значительное рассеяние положений звезд на диаграмме, что указывает на присутствие большого количества звезд фона на луче зрения в направлении на скопление. Неудивительно, что оценки возраста, сделанные различными авторами, значительно различаются. По изохронам, рассчитанным на основе данных фотометрических наблюдений, возраст скопления составляет всего 2-5 млн лет для звезд с массой  $M < 25 M_{\odot}$  [13], в то время как по *ubvu* фотометрии для звезд с массой  $M > 4 M_{\odot}$  возраст оценен в 10-20 млн лет [12]. Так как в скоплении NGC 6871 присутствуют звезды спектрального класса O, это ограничивает верхнюю границу возраста. Так, согласно [13] наибольшие массы звезд в скоплении составляют  $40 M_{\odot}$ , что накладывает ограничение

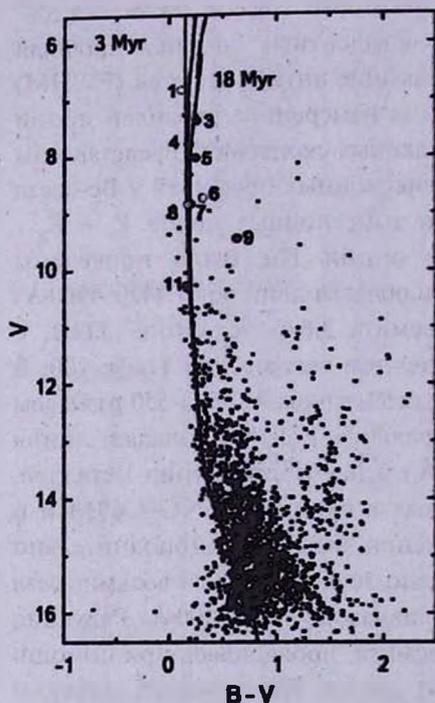


Рис.1. Диаграмма цвет - звездная величина для скопления NGC 6871, построенная по данным [13]. Жирными кружками обозначены В-звезды скопления, а открытыми кружками - В-звезды, для которых были получены спектры в данной работе. Сплошные линии - изохроны для возраста  $\log t = 6.5, 7.0$  и  $7.25$ , соответственно, с учетом покраснения  $E(B-V) = 0.46$ , и модулем расстояния  $DM = 11^m.65$  [13]. Номера звезд взяты из табл.1 и 2.

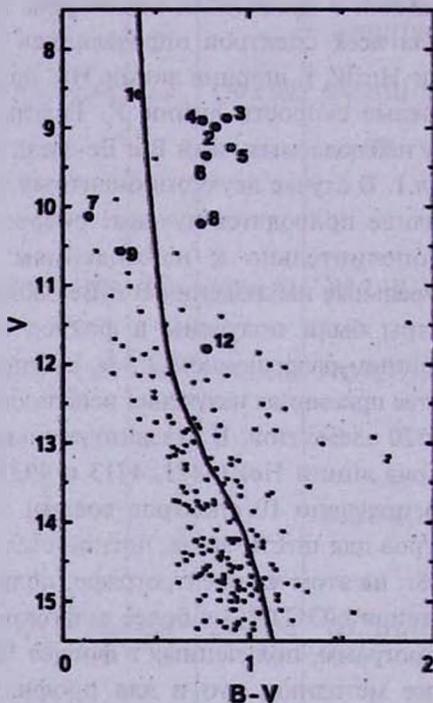


Рис.2. Диаграмма цвет - звездная величина для скопления NGC 6913, построенная по данным [13]. Жирными кружками обозначены В-звезды скопления, а открытым кружком - В-звезда, для которой были получены спектры. Изохрона приведена для возраста  $\log t = 6.5$ , с учетом покраснения  $E(B-V) = 0.71$ , и модулем расстояния  $DM = 10^m.7$  [18]. Номера звезд взяты из табл.1 и 2.

на возраст в 4-5 млн лет [26]. Однако в [13] оговаривается, что в данное скопление входят также звезды с массой  $15 M_{\odot}$  и временем жизни на Главной последовательности около 11 млн лет. Решение данного противоречия было предложено в [27] и, возможно, связано с тем, что в изучаемую область попадают более молодые звезды спирального рукава. По данным [5] величина межзвездного поглощения составляет  $E(B-V)=0.4$ , что согласуется с оценками  $E(B-V)=0.46$  [13]. На рис.1 нами приведены изохорны, сдвинутые с учетом межзвездного покраснения  $E(B-V)=0.46$  [13].

Оценка расстояния до скопления также встречает трудности, наблюдается некоторое различие между данными, полученными различными методами. Так, в [7] модуль расстояния, полученный тремя методами: по спектральному типу  $DM[MK]=11^m.6 \pm 0^m.3$ , по  $UBV$  фотометрии  $DM[(U-B)_0]=11^m.22 \pm 0^m.14$  и по  $H\beta$  фотометрии  $DM[\beta]=11^m.63 \pm 0^m.28$ , что приводит к среднему значению модуля расстояния  $DM=11^m.5$  или расстоянию до скопления 2.0 кпк. Позднее в [12], по исследованию 21 звезды скопления было получено среднее значение  $DM=11^m.94 \pm 0^m.08$ , что соответствует расстоянию  $2440 \pm 100$  пк. Наконец, в [13] модуль расстояния оценен в  $11^m.65 \pm 0^m.07$ .

В другом, изучаемом нами, скоплении NGC 6913, наблюдается еще более значительная неоднородность величины покраснения от звезды к звезде. Это хорошо видно на диаграмме цвет - звездная величина, построенной по данным [13] и представленной на рис.2. В [18] исследовалась неоднородность экстинкции и найдено, что покраснение в центре скопления достаточно однородно, в то время как северная и южная части имеют значительно большее покраснение, и наоборот, восточная и южная области имеют значительно меньшую экстинкцию, что и проявляется в виде существенного рассеяния положения отдельных звезд на рис.2.

Среднее значение  $E(B-V)=0.78$  получено в [20]. Модуль расстояния  $DM=10^m.17 \pm 0^m.14$ , что соответствует расстоянию до скопления 1.08 кпк [18]. Оценки расстояния других авторов лежат в пределах 0.8-2.8 кпк, что по оценкам [20] приводит к неопределенности возраста скопления в диапазоне 0.3 и 1.75 млн лет, в то же время на луче зрения, вероятно, находятся звезды, чей возраст не превышает значения в 0.3 млн лет. Столь значительный разброс модуля расстояния и возраста звезд безусловно указывает на присутствие в поле зрения скопления значительного количества звезд поля.

4. *Профили линии Na у В и Ве-звезд скоплений.* До настоящего времени большинство спектральных наблюдений В и Ве-звезд скоплений NGC 6871 и NGC 6913 выполнялись с низким, либо умеренным разрешением. Одной из задач данной работы был поиск слабой эмиссии в линии Na среди В-звезд скоплений. Известно, что у многих Ве-звезд наблюдается слабая эмиссия на фоне фотосферного профиля линии Na, которая лучше всего может быть обнаружена по спектрам высокого разрешения.

В период с 1998 по 2002гг. нами получено 17 спектров девяти ярких звезд скопления NGC 6871 и 5 спектров двух В-звезд, членов скопления NGC 6913. Среди исследованных 9 В и Ве-звезд скопления NGC 6871, только в спектрах звезд HD 190918 и HD 227611 наблюдалась значительная эмиссия в линии  $H\alpha$ .

HD 190918 (звезда 1) - известная спектрально-двойная звезда типа Вольфа-Райе V1676 Суг спектрального типа WN4.5 + O9.5Ib [28]. Полученный нами профиль линии  $H\alpha$  характерен для данного класса объектов [12,29,30].

HD 227611 (звезда 6) - хорошо известная Ве-звезда скопления. В [17] отмечается значительная эквивалентная ширина линии  $H\alpha$  ( $W_\lambda = -75.7\text{\AA}$ ), также отмечалась значительная эмиссия в других линиях Бальмеровской серии [5]. Нами получено четыре спектра звезды в области линии  $H\alpha$ . Как видно из рис.3, профиль линии  $H\alpha$  не имеет значительной переменности в период с 1998 по 2002гг. Более того, полученные нами значения эквивалентной ширины линии  $H\alpha$  (см. табл.1) хорошо согласуются с данными [15,17]. Следует отметить, что звезда имеет предельное для класса Ве-звезд значение эквивалентной ширины линии  $H\alpha$  ( $W_\lambda = -90 + -70\text{\AA}$ ). На диаграмме цвет - звездная величина (рис.1) звезда расположена близко к Главной последовательности, что подтверждают и спектральные наблюдения [15]. Такое положение звезды на диаграмме может указывать на относительно небольшой вклад оболочки в показатели цвета, но скорее всего, связано с более низким межзвездным покраснением в области, где расположен данный объект.

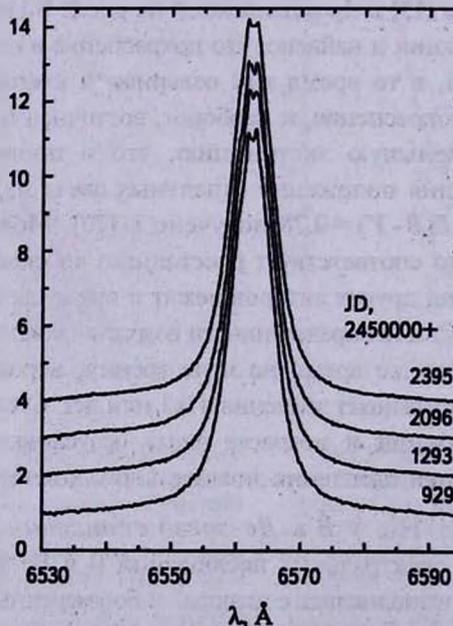


Рис.3. Профили линии  $H\alpha$  для Ве-звезды HD 227611 члена скопления NGC 6871.

BD +35°3956 (звезда 8) отнесена к классу Ве в [31], там же отмечалась значительная переменность профиля линии  $H\alpha$  от абсорбционного до двухкомпонентного эмиссионного профиля умеренной интенсивности на временном интервале около 10 дней. Присутствие эмиссии в линии  $H\alpha$  у звезды наблюдалось также в [5]. В работе [15] отмечено, что в спектре звезды присутствуют широкие и довольно глубокие линии металлов и заподозрена двойственность звезды. Переменность лучевой скорости отмечена в [32]. В [33] определена высокая скорость вращения звезды  $V \sin i = 300$  км/с. Полученные нами три профиля линии  $H\alpha$  (рис.4) демонстрируют переход звезды от В к Ве фазе с 1998 по 2001г. Два абсорбционных профиля, полученных

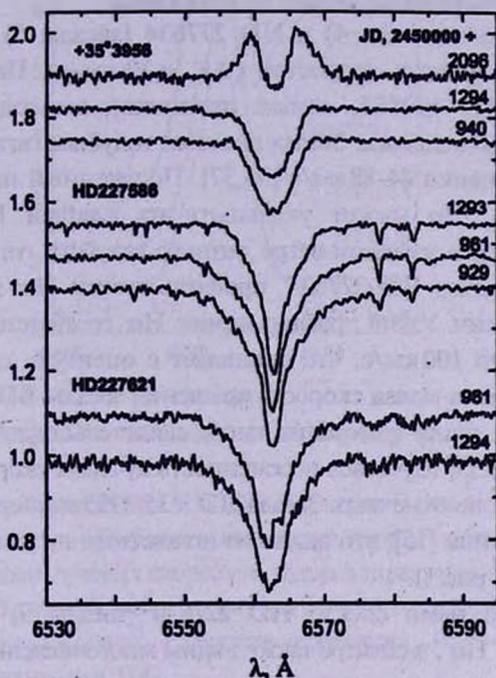


Рис.4. Переменность профилей линии  $H\alpha$  для трех звезд скопления NGC 6871.

с разницей в один год, показывают переменность лучевой скорости звезды  $-11$  км/с в 1998 и  $-49$  км/с в 1999г. Такая переменность лучевой скорости может указывать на двойственность объекта. Профиль линии  $H\alpha$ , полученный в 2001г., похож на профили, полученные в [31], и показывает двухкомпонентную эмиссионную структуру.

У HD 227586 (звезды 7) в [34] найдена переменность лучевых скоростей в диапазоне от  $-30$  до  $21$  км/с (от  $-14$  до  $16$  км/с в течение одних суток). Незначительная переменность блеска звезды отмечена в [35], но в [11,17] и в других более поздних работах переменность блеска звезды и лучевых

скоростей не наблюдалась. Полученные нами три спектра (см. рис.4) также не показали признаков эмиссии в линии  $H\alpha$ . Профиль линии достаточно узкий ( $FWHM = 200$  км/с), что указывает на относительно малую скорость вращения. Наши оценки лучевой скорости также могут указывать на возможную двойственность объекта ( $\Delta V_r = 17$  км/с).

HD 227621 (звезда 11) является мало изученным объектом. Нами получено два спектра (см. рис.4), оба профиля линии  $H\alpha$  абсорбционные. Звезда находится вблизи Главной последовательности. Измеренная полуширина линии на середине интенсивности ( $FWHM = 255$  км/с) указывает на умеренную скорость вращения.

У HD 190864 (звезды 4) и HD 277634 (звезды 5) в [32,34] отмечена переменность лучевых скоростей ( $\Delta V_r = 20$  км/с). Нами было получено два спектра HD 190864, явных признаков эмиссии ни в одном из профилей не наблюдалось. Звезда является голубым гигантом [1] со средней скоростью вращения 84–88 км/с [36,37]. Полученный нами профиль слегка асимметричен, что может указывать на слабый P Cyg компонент, формирующийся в звездном ветре данного голубого гиганта. Нами получен только один спектр HD 277634, профиль линии  $H\alpha$  абсорбционный без признаков эмиссии. Узкий профиль линии  $H\alpha$  соответствует низкой скорости вращения около 100 км/с, что совпадает с оценкой, сделанной в [33].

В [33] отмечена малая скорость вращения звезды BD +35°3955 (звезда 3). (менее 40 км/с), наши измерения также свидетельствуют о низкой скорости вращения. В [32,33] изучалась переменность лучевых скоростей, но признаков двойственности не отмечено. Звезда BD +35°3955 является гигантом раннего спектрального типа [15], это видно из положения звезды на диаграмме цвет-светимость (см. рис.1).

Полученный нами спектр HD 227630 (звезды 9) имеет очень узкий профиль линии  $H\alpha$ , в спектре также видны многочисленные узкие и глубокие линии. На диаграмме цвет-светимость звезда находится в области холодных гигантов ( $T_{\text{eff}} = 5800$  К, согласно [12]), либо является сильно покрасневшим объектом еще большей светимости, погруженным в плотное газопылевое облако. В [12] определен спектральный тип G2 и сделано предположение, что звезда не является членом скопления. Наши наблюдения также указывают на то, что HD 227630 скорее всего не является членом скопления.

В области линии  $H\alpha$  получены спектры только двух звезд скопления NGC 6913. Известная Ве-звезда HD 229221 (V1322 Cyg, звезда 5) является членом скопления и классифицирована как B0  $\Pi^+e$  в [30], в [17] определена эквивалентная ширина линии  $H\alpha$  ( $W_\lambda \sim -13\text{\AA}$ ), к классу Ве-звезд отнесена в работе [13]. Переменность блеска отмечается в [20, 21]. В [18] определено покраснение звезды  $E(B-V) = 1.17$ , это показывает наличие у звезды плотного диска. На спектрах, полученных в [18], профиль линии  $H\alpha$  меняется от простого эмиссионного до сложного трехкомпонентного профиля. Полученные

в данной работе три спектра в области линии  $H\alpha$  звезды (рис.5), показали переменность эмиссионного профиля линии  $H\alpha$ :  $W_\lambda$  менялась от  $-20$  до  $-38 \text{ \AA}$ . В работах [14] и [38] не отмечено заметной переменности лучевых скоростей фотосферных линий.

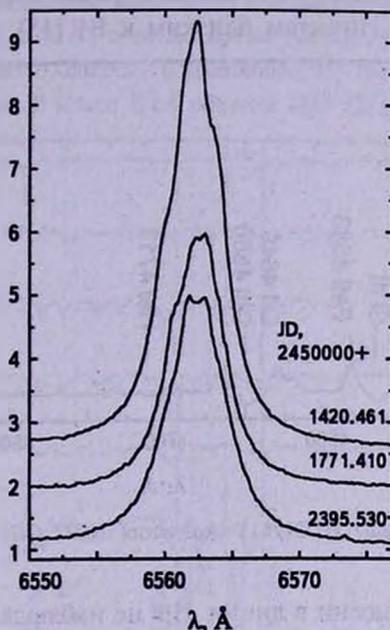


Рис.5. Профили линии  $H\alpha$  Ве-звезды HD229221 (номер 5) в скоплении NGC 6913.

Нами получено два спектра HD 229227 (звезда 6), эмиссия в линии  $H\alpha$  не наблюдается, хотя в [22] была заподозрена переменность блеска. В [38] найдена переменность лучевых скоростей, которая характерна для спектрально-двойных звезд. В данной работе получен широкий профиль линии  $H\alpha$ , что указывает на высокую скорость вращения  $V \sin i = 253 \pm 5 \text{ км/с}$ , совпадающую с данными [14].

**5. Изучение спектров В и Ве-звезд скоплений в области 4050-5100  $\text{\AA}$ .** Дополнительно к спектральным наблюдениям в линии  $H\alpha$ , для ряда В и Ве-звезд скоплений были изучены спектры с умеренным разрешением в синей области длин волн. В эту спектральную область попадает линия  $H\beta$ , которая, наряду с линией  $H\alpha$ , показывает признаки эмиссии у большинства Ве-звезд. В области длин волн 4400-4960  $\text{\AA}$  были получены спектры шести звезд скопления NGC 6871.

Профиль линии  $H\beta$  у Ве-звезды HD 227611 (звезды 6) эмиссионный (рис.6). Эмиссия наблюдается и в других линиях ( $\text{He I } 4471$  и  $4712 \text{ \AA}$ , а также в линиях металлов  $\text{Fe II } 4523$  и  $4583 \text{ \AA}$  и др.). Наличие яркого

диска вокруг звезды, о чем свидетельствует высокая интенсивность линии  $H\beta$ , не позволяет судить о химическом составе звезды, но можно отметить наличие линий кислорода  $OII$ , углерода  $CIII$  и триплета кремния, что свойственно звездам Главной последовательности спектрального типа более раннего чем  $B1$  или гигантам близким к  $B1$  [15].

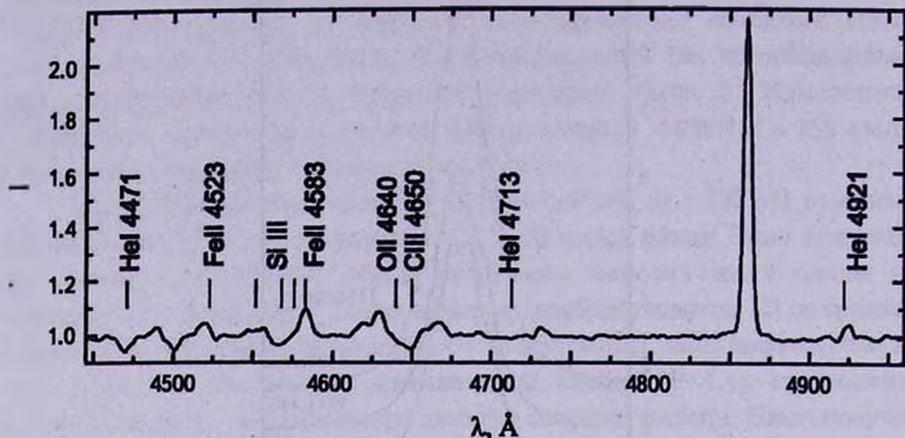


Рис.6. Спектр Ве-звезды HD227611 скопления NGC 6871 в спектральной области 4400-4960 Å.

У других звезд эмиссии в линии  $H\beta$  не наблюдалось (рис. 7). Спектр звезды HD 227630 (звезды 9) является характерным для холодной звезды. В [12] определен модуль расстояния звезды ( $V_0 - M = 3.73$ ), который значительно отличается от среднего значения для скопления. Учитывая это, можно утверждать, что звезда не является членом скопления.

Из полученного нами спектра звезды HD 190864 (звезда 4) (рис.7) видно, что звезда имеет интенсивную линию  $He II 4686 \text{ \AA}$ . На относительно высокую светимость указывает более глубокая линия углерода  $CIII 4650 \text{ \AA}$  по отношению к линии гелия  $He II 4686 \text{ \AA}$ . Менее интенсивны линии других металлов, чем в спектре других наблюдаемых в данной работе звезд, наши оценки спектрального класса звезды совпадают с данными [15].

Как видно из рис.7, спектральные линии у BD +35°3956 (звезды 8) имеют значительную ширину, возможно это двойная звезда [15], скорость вращения нами оценена в  $250 \pm 100 \text{ км/с}$ . Отсутствие линии  $He II 4686 \text{ \AA}$  и слабые линии некоторых других металлов соответствует спектральному классу  $B0.5$  или позднее [15].

В спектре HD 227634 (звезды 5) хорошо видны линии металлов, кислорода и азота, глубокая линия углерода  $CIII$  и умеренная по интенсивности линия  $He II 4686 \text{ \AA}$ , что свидетельствует о раннем спектральном классе объекта  $B0-B1$ , наша оценка близка к определению, полученному в [15] -  $B 0.2II$ . Полученный спектр HD 227586 (звезды 11) в данной области является

подобным спектру звезды HD 227637. Менее интенсивные линии HeII 4686 Å и CIII 4650 Å соответствуют спектральному классу B0V [15]. В спектре HD 227621 (звезда 11), в сравнении со спектрами звезд HD 227637 и HD227586, наблюдаются менее глубокие линии металлов HeII 4541 Å, HeII 4686 Å и CIII 4650 Å, в то же время линии HeI 4713 Å, HeI 4471 Å и MgII 4481 Å имеют близкие интенсивности. Это указывает на более поздний спектральный класс B1.5 объекта HD 227621.

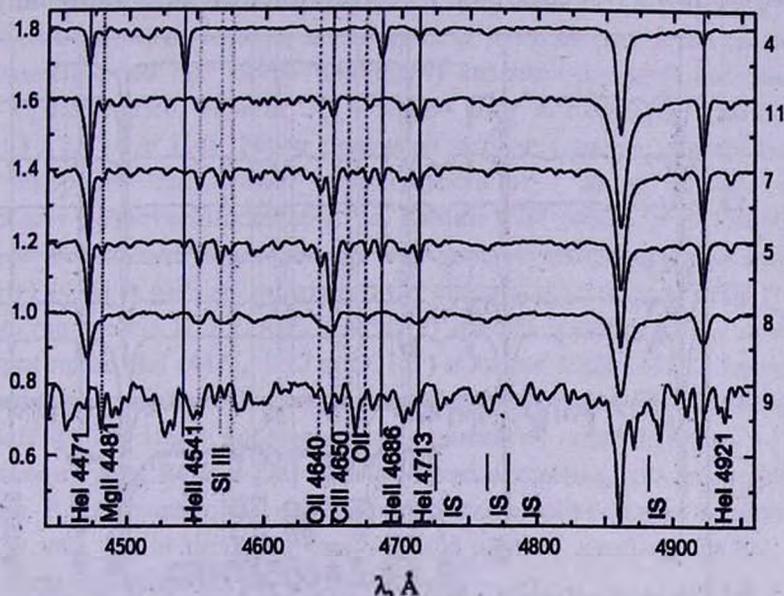


Рис.7. Спектры некоторых звезд скопления NGC 6871 в области 4400-4960 Å. Нумерация звезд - согласно табл.2. На рисунке отмечены некоторые линии металлов и межзвездные линии (IS).

В скоплении NGC 6913 в синей области было получено 36 спектров десяти звезд скопления. На рис.8 приведены примеры спектров В-звезд. Поскольку значительная переменность их спектров не обнаружена, то для каждой звезды приведено только по одному спектру. Однокомпонентные эмиссионные профили линий H $\beta$  и H $\gamma$  наблюдаются только в спектре Вe-звезды HD229221. Нами получено пять спектров звезды. Наблюдается эмиссия в линии He I 5016 Å, а остальные линии HeI (4471, 4713 и 4922 Å) менее интенсивны, чем у других В-звезд скопления. На всех спектрах видна слабая линия HeII 4686 Å, также присутствует линия углерода CIII 4650 Å, а линия кислорода заметно менее интенсивная. Все это указывает на спектральный класс B0.2IIIe [15].

HD229239 (звезда 2) в [30] представлена как B0.5IIIe. У данной звезды в [38,14] наблюдалась переменность лучевых скоростей, более того в [14]

определен орбитальный период в 1.7075 дня. На спектрах, полученных в 2008г. нет заметных следов эмиссии (рис.8), скорость вращения  $V_{\sin i} = 150 \pm 50$  км/с и наблюдается значительная переменность лучевой скорости  $\Delta V_r = 60$  км/с. Абсорбционные профили линий получены и в [13,20], в работах [12,18,23] звезда отнесена к классу нормальных В-звезд. Интенсивность линий H $\beta$ , HeI и других линий металлов сходны с полученным в [15] спектром, и соответствует спектральному типу В0.2III.

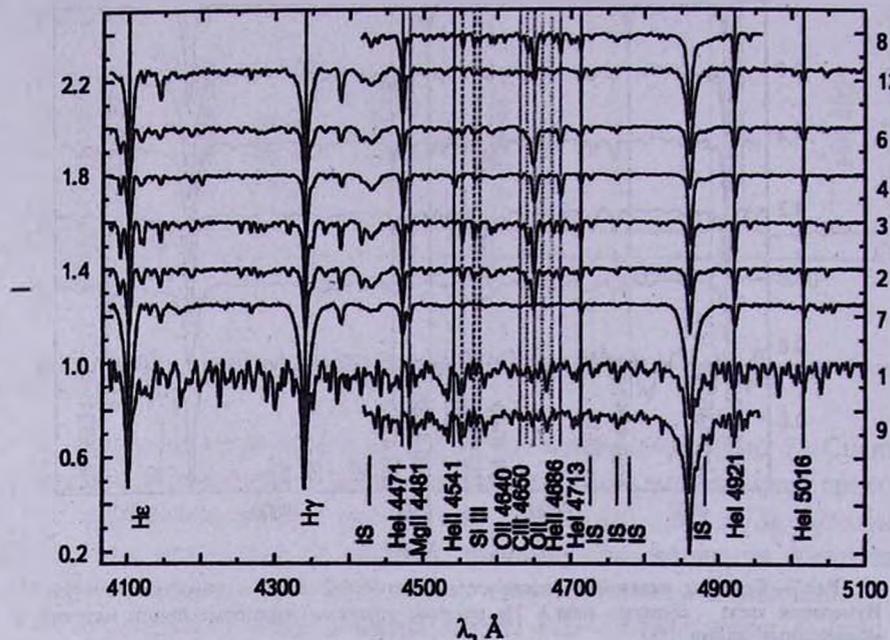


Рис.8. Спектры некоторых звезд скопления NGC 6913 в области 4400-4960 Å. На рисунке отмечены некоторые линии металлов и межзвездные линии (IS). Нумерация звезд - согласно табл.2.

Полученные нами спектры звезды HD 194378 (V2031 Суг, звезда 1) указывают на поздний спектральный тип объектов (рис.8). Наши спектры подтверждают предположения, сделанные в [19,20,10] о том, что звезда не является членом скопления. HD194378 занимает пекулярное положение на диаграмме Герцшпрунга-Рассела (рис.2), что также отмечено в работе [20]. В [22] отмечалась возможная переменность блеска звезды, так что она может быть затменно-двойной системой. Более детально звезда изучена в [14] и определена как двойная с периодом 2.7047 суток, также отмечено, что звезда не является членом скопления NGC 6913.

Спектр HD 229233 (звезды 9) соответствует спектру более холодной звезды (рис.8), это возможно звезда фона. В [14,21] также сделано предположение, что звезда не является членом скопления. Спектральный тип определен как F0.

HD 229238 (звезда 3) уже покинула Главную последовательность и находится на пути в область гигантов (рис.2). В [14,38,39] наблюдались вариации лучевых скоростей, свойственные спектрально-двойным звездам. Более того, звезда имеет фотометрическую переменность, т.е. она может являться затменно-двойной системой [22] с периодом 697 дней [14]. В 2008 году были получены три спектра данной звезды, заметной переменности лучевой скорости нами не обнаружено.

В работах [38,14] по анализу переменности лучевых скоростей сделано предположение, что HD 229234 (звезда 4) является двойной системой. Оценен орбитальный период  $P_{\text{orb}} = 3.5104$  дня и скорость вращения  $V \sin i = 103 \pm 2.0$  км/с [14]. Нами получено четыре спектра, измеренные лучевые скорости показывают переменность от - 30 до 60 км/с что подтверждает двойственность объекта. Линии СIII 4650 Å и ОП 4640 Å показывают небольшую интенсивность и отношение интенсивностей линий HeII и HeI (4541 и 4471 Å) соответствует спектральному типу O9П [15].

В спектре звезды HD 229253 (звезда 7) (рис.8) хорошо видны линия H $\beta$ , линии гелия HeI (4471, 4712 и 4921 Å) и линия MgII 4481 Å, которая намного глубже, чем у других звезд скопления, а также полностью отсутствует линия HeII 4686 Å. Наши наблюдения соответствуют определенному в [18] спектральному типу В4П. В [21] сделано предположение, что это не член скопления. В [14] звезда определена как двойная с орбитальным периодом  $P_{\text{orb}} = 3.459$  дня. Нами получено два спектра данной звезды в 2008г., их лучевые скорости разнятся на  $\Delta V_r \approx 20$  км/с.

Для HD 229227 (звезды 6) нами оценена скорость вращения  $V \sin i = 250 \pm 50$  км/с. В [14] по переменности лучевых скоростей определено, что HD 229227 является двойной звездой, но полученное отклонение лучевых скоростей от среднего значения для скопления велико, возможно это звезда фона. На спектрах, полученных в 2008г. наблюдается переменность лучевых скоростей ( $\Delta V_r \approx 30$  км/с), что скорее всего связано с двойственностью объекта. Спектральный тип звезды O9.7III [15].

Спектр звезды 12 исследовался в [14] и по переменности лучевых скоростей сделано предположение, что это спектрально-двойная звезда с орбитальным периодом  $P_{\text{orb}} = 4.035$  дня. Звезда мало изучена, а переменность профиля и блеска ранее не исследовалась. Нами получено три спектра звезды, по измеренным лучевым скоростям наблюдается переменность от  $V_r = 53$  км/с до  $V_r = -69$  км/с в течение суток.

Для некоторых звезд исследуемых скоплений определение основных параметров их атмосфер ранее не выполнялось, поэтому мы оценили, по спектрам в области длин волн 4050-5100 Å, эффективную температуру  $T_{\text{eff}}$  и ускорение силы тяжести ( $\log g$ ) в атмосфере звезд без учета возможного вклада излучения H $\gamma$  в непрерывном спектре в случае Ве-звезд. Для

определения параметров атмосфер была построена сетка моделей для температур 19000-35000 К с шагом 1000 К и  $\log g = 3, 3.5, 4$  и солнечным химическим составом. Спектры рассчитывались по моделям [40] с помощью программы SynthV [41]. Далее, на основе исходной сетки, при фиксированном значении величины  $\log g$ , интерполяцией определялись значения  $T_{\text{eff}}$  и  $U_{\text{turb}}$ . При определении параметров атмосферы звезды во внимание брались линии MgII 4481, HeI (4471, 4712, 4921 Å) и H $\beta$ . Результаты определения параметров атмосфер звезд представлены в табл.2.

**6. Выводы.** Фотометрические и спектроскопические исследования, выполненные в предыдущих работах, позволили обнаружить 14 В-звезд в скоплении NGC 6871 и 43 В-звезды в NGC 6913. Из них в NGC 6871 две определены как Ве-звезды; одна Ве-звезда с сильной эмиссией в водородных линиях и возможно две слабоэмиссионные звезды найдено в скоплении NGC 6913.

Нами исследовано 17 профилей линии H $\alpha$  и 8 спектров умеренного разрешения полученных в области H $\beta$  у девяти звезд молодого рассеянного звездного скопления NGC 6871. У семи В-звезд получены абсорбционные профили линии H $\alpha$ . В спектрах трех звезд наблюдается эмиссия в линии H $\alpha$ , одна из звезд - известная звезда типа WR (V1676 Cyg), у BD +35°3956 наблюдается переход от В к Ве фазе.

В скоплении NGC 6913 исследованы две звезды в области линии H $\alpha$  с высоким разрешением. В период наших наблюдений, Ве-звезда HD 229221 имела значительную переменную эмиссию в линии H $\alpha$ . Дополнительно, в синей области длин волн, изучено 36 спектров десяти звезд скопления. У пяти В-звезд скопления NGC 6913 наблюдается переменность лучевых скоростей более 30 км/с.

Наши наблюдения не позволили обнаружить новые Ве-звезды. Малое относительное содержание Ве-звезд в скоплениях не противоречит гипотезе об увеличении популяции Ве-звезд в скоплениях с возрастом после 10 млн лет [1].

По спектрам умеренного разрешения, полученных в области длин волн 4420-4960 Å для ряда В и Ве-звезд скоплений была выполнена спектральная классификация и оценены параметры их атмосфер, такие как температура, ускорение силы тяжести и скорость вращения. Найдено, что три звезды не являются членами скоплений NGC 6871 и NGC 6913.

Данная работа была выполнена при частичной финансовой поддержке украинского фонда UFFR Ф 25.2/139.

<sup>1</sup> Таврический национальный университет им. Вернадского, Симферополь, e-mail: Svetlana\_mal\_81@mail.ru Svetlana\_mal@ukr.net;

<sup>2</sup> НИИ Крымская астрофизическая обсерватория, Украина, e-mail: tarasov@crao.crimea.ua aetarasov@mail.ru

## THE SPECTROSCOPY OF THE B AND Be STARS IN THE OPEN STELLAR CLUSTERS NGC 6871 AND NGC 6913

S.L.MALCHENKO<sup>1,2</sup>, A.E.TARASOV<sup>1,2</sup>

The population of the B and Be stars in the young and relatively poor open stellar clusters NGC 6871 and NGC 6913 was studied. High resolution spectroscopy in the H $\alpha$  region was obtained for 11 stars of the clusters. Three emission stars were found in the cluster NGC 6871, one of them is a known WR star, another Be star BD +35°3956 demonstrated spectral changes from B to Be phase. Spectra of seven B stars did not show signs of emission in H $\alpha$ . The Be star V1322 Cyg in the cluster NGC 6913 had bright emission profile with large variability of intensity and equivalent width. The moderate resolution spectra for seven stars of the NGC 6871 cluster in the spectral region 4420-4960 Å and ten stars in the spectral region 4050-5100 Å for NGC 6913 were obtained.  $T_{\text{eff}}$  and  $\log g$  were estimated for most of them. It is found that three stars are not members of the clusters.

Key word: *stars:spectra - stellar clusters NGC 6871, NGC 6913*

## ЛИТЕРАТУРА

1. J.C.Mermilliod, *Astron. Astrophys.*, **109**, 48, 1982.
2. J.Fabregat, J.M.Torrejón, *Astron. Astrophys.*, **375**, 451, 2000.
3. D.R.Gies, IAU Coll. 175, *The Be Phenomenon in Early Type Stars*, eds. M.A.Smith, H.F.Henrichs, J.Fabregat. PASP Conf. Ser V.214, p.668, 2000.
4. M.J.Coe, IAU Coll. 175, *The Be Phenomenon in Early Type Stars*, eds. M.A.Smith, H.F.Henrichs, J.Fabregat. PASP Conf. Ser V.214, p.656, 2000.
5. Z.Balog, S.Kenyon, *Astron. J.*, **124**, 2083, 2002.
6. S.Bernabei, V.F.Polcaro, *Astron. Astrophys.*, **366**, 817, 2001.
7. A.A.Hoag, H.L.Johnson, B.Iriarte et al., *Publ. U.S. Naval Obs. Ser.*, **2**, 17, 343, 1961.
8. A.Purgathofer, *Zeitschrift für Astrophysik*, **52**, 22, 1961.
9. H.L.Cohen, *Astron. J.*, **74**, 1168, 1969.
10. D.L.Crawford, J.V.Barners, W.H.Jr Warren, *Astron. J.*, **79**, 623, 1974.
11. A.J.Delgado, E.J.Alfaro, J.M.García-Pelayo et al., *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **58**, 447-451, 1984.
12. H.-G.Reimann, *Astron. Nachr.*, **310**, 273, 1989.
13. P.Massey, K.E.Johnson, K.DeGloia-Eastwood, *Astrophys. J.*, **454**, 151, 1995.
14. C.Boeche, U.Munari, L.Tomasella, R.Barbon, *Astron Astrophys.*, **415**, 145, 2004.

15. *I.Negueruela*, *Astron. Nachr.*, **325**, 380, 2004.
16. *N.R.Walborn*, *Astrophys. J.*, **77**, 312, 1972.
17. *R.Schild, W.Romanishin*, *Astrophys. J.*, **204**, 493, 1976.
18. *J.-J.Wang, J.-Y.Hu*, *Astron. Astrophys.*, **356**, 118, 2000.
19. *J.-J.Wang, J.-Y.Hu*, *Chin. Astron. Astrophys.*, **20**, 67, 2001.
20. *U.C.Joshi, B.B.Sanwal, R.Sagar*, *PASJ*, **35**, 405, 1983.
21. *D.L.Crawford, J.V.Barners, G.Hill*, *Astron. J.*, **82**, 606, 1977.
22. *G.A.Bakos*, *BAICz*, **24**, 164, 1973.
23. *W.W.Morgan, D.L.Harris*, *Vistas Astron.*, **2**, 1124, 1956
24. *W.G.Tift*, *Astron. J.*, **63**, 127, 1958.
25. *S.G.Sergeev*, The program package to handle one-dimensional spectra. User guide, 1997.
26. *G.Schaller, D.Schaerer, G.Meynet, A.Maeder*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **96**, 296, 1992.
27. *C.L.Slesnick, L.A.Hillenbrand, P.Massey*, *Astrophys. J.*, **576**, 880, 2002.
28. *I.Lundstrom, B.Stenholm*, *Astron. Astrophys. Suppl.*, **58**, 163, 1984.
29. *D.Meisel*, *Astron. J.*, **73**, 350, 1968.
30. *N.G.Ronan*, *Astrophys. J.*, **144**, 492, 1951.
31. *J.A.Grigsbly, N.D.Morrison*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **100**, 830, 1988.
32. *A.H.Batten*, *Astron. J.*, **70**, 318, 1965.
33. *A.J.Meadows*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **123**, 81, 1961.
34. *R.M.Petrie, J.A.Pearce*, *Publ. Dom. Astrophys. Obs.*, **12**, 1, 1961.
35. *Cohen*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **94**, 198, 1982.
36. *L.R.Penny*, *Astrophys. J.*, **463**, 737, 1996
37. *D.Ian*, *Howarth*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **284**, 265, 1997.
38. *T.Liu, K.A.Janes, T.M.Bania*, *Astron. J.*, **98**, 626, 1989.
39. *T.Liu, K.A.Janes, T.M.Bania*, *Astron. J.*, **102**, 1103, 1991.
40. *R.L.Kurucz*, Atlas9 Stellar Atmosphere Program and 2 km s<sup>-1</sup> grid. Kurucz No.CD-ROM 13. \\Cambrige, Mass.:Simithsonian Astrophys. Obs., 1993, 13.
41. *V.V.Tsymbal*, *ASP Conf. Ser.*, **108**, 198, 1996.