

ПОДВЫБОРКА БЕЛЫХ КАРЛИКОВ ГОЛУБЫХ
ЗВЕЗДНЫХ ОБЪЕКТОВ FBS

П.К.СИНАМЯН, А.М.МИКАЕЛЯН

Поступила 24 ноября 2010

Принята к печати 25 мая 2011

Приводятся результаты исследований подвыборки белых карликов второй части FBS обзора. В обзоре FBS выявлено 217 WD, среди которых основную часть составляют DA карлики, а также встречаются полклассы DO, DOB, DB, DAB, DAZ, DZ и DC. Проводились многоволновые исследования выборки WD обзора FBS, среди которых 178 объектов из 217 белых карликов совпадают с инфракрасными источниками 2MASS, 155 объектов имеют данные по GALEX (ультрафиолет), 23 являются рентгеновскими источниками ROSAT, 120 из выборки имеют данные по SDSS со звездными величинами в пяти фотометрических полосах *u*, *g*, *r*, *i* и *z*. Проводилось также сравнение выборки WD обзора FBS с аналогичными обзорами (PG и SDSS). Приведены также средние величины *B* и *R*, а также средняя величина длины низкодисперсионных спектров белых карликов из DFBS.

Ключевые слова: *обзоры:белые карлики*

1. *Введение.* Основной целью обзоров голубых звездных объектов является составление полной выборки квазаров (QSO) и сейфертовских галактик (Sy), а также интересных типов звезд, таких как белые карлики (WD), горячие субкарлики (sd), катаклизмические переменные (CV) и т.д. Подавляющее большинство отбираемых объектов после щелевой спектроскопии оказываются звездами.

Одним из таких обзоров является Первый Бюраканский Обзор (First Byurakan Survey, FBS [1]), и, в частности, его вторая часть [2]. Для 1103 отобранных в FBS голубых звездных объектов (Blue Stellar Objects, BSO) опубликован электронный каталог в CDS [3]. Отдельный интерес представляет изучение подвыборок конкретных физических типов объектов, особенно WD и CV. В частности WD имеют высокую плотность вещества (10^5 - 10^6 г/см³) и содержат вырожденный газ, некоторые из них показывают переменность (пульсирующие белые карлики типа ZZ Ceti с нерадиальными пульсациями), а другие имеют сильные магнитные поля (от 2×10^3 до 10^9 Гс) и являются магнитными белыми карликами, что ставит этот класс в ряд самых интересных объектов с точки зрения физики и эволюции звезд. Белые карлики входят в состав CV. В частности, особый интерес представляют поляры (или звезды типа AM Her) и промежуточные поляры (или звезды типа DQ Her) - системы, содержащие белые карлики. Кроме

того, так как мы исследуем карлики ранних спектральных классов, в них встречаются ядра планетарных туманностей.

Данная работа посвящена подвыборке белых карликов второй части обзора FBS.

2. *Подвыборка белых карликов обзора FBS.* В настоящее время исследовано 4109 кв. гр. обзора FBS ($+33^\circ < \delta < +45^\circ$ и $\delta > +61^\circ$). В результате отобран 1101 FBS BSO объект. Результаты спектральных наблюдений и классификации FBS BSO нами опубликованы в работах [4-11]. Однако, наряду с нашими наблюдениями, объекты выборки FBS исследовались и другими авторами. В результате классифицировано всего 753 (68.3%) из 1101 голубых звездных объектов FBS. Среди них наиболее многочисленными являются подвыборки горячих субкарликов sd (49.3% от общего числа классифицированных объектов) и белых карликов WD (28.8%). В обзоре FBS выявлено 217 WD, среди которых основную часть составляют DA карлики, а также встречаются подклассы DO, DOB, DB, DAO, DAB/DBA, DAZ, DZ и DC. В табл.1 представлены подклассы, которые встречаются в подвыборке.

Таблица 1

ПОДКЛАССЫ ОБЪЕКТОВ ПОДВЫБОРКИ

Тип	DO	DOB	DB	DAO	DAB/DBA	DA	DAZ	DZ	DC	Все
Кол.	5	2	7	2	8	180	2	7	4	217
%	2.3	0.9	3.2	0.9	3.7	82.9	0.9	3.2	1.8	100

3. *Физические характеристики FBS WD.* Для выборки звезд FBS обзора определены собственные движения в работе [12], где было выявлено 640 объектов (в том числе 146 белых карликов) с собственными движениями $PM \geq 10$ mas/г, а 333 объекта (в том числе 99 белых карликов) имеют $PM \geq 20$ mas/г. 34 WD имеют $PM \geq 100$ mas/г, 7 имеют $PM \geq 200$ mas/г, 6 – $PM \geq 300$ mas/г WD, которые вошли в список наиболее интересных объектов.

Были также вычислены абсолютные звездные величины и максимально возможное расстояние, принимая тангенциальную скорость $v_t = 50$ км/с как верхний предел. В результате выявлено 185 вероятных белых карликов ($M > 8^m$), 69 возможных WD ($6^m < M < 8^m$) и 42 кандидата в sd/WD ($3^m < M < 6^m$). Из ранее классифицированных объектов был переоткрыт 121 белый карлик. На рис.1 представлено распределение объектов по собственным движениям.

Для получения наилучших фотометрических данных FBS BSO объектов сделана кросс-корреляция с каталогами MAPS [13] и USNO-B1.0 [14]. Результаты приведены в работе [15]. На рис.2 показано распределение

выборки WD FBS обзора по звездным величинам MAPS O.

Каждая подвыборка имеет свое конкретное место на двухцветной диаграмме [15], что дает возможность по показателям цвета, наряду с

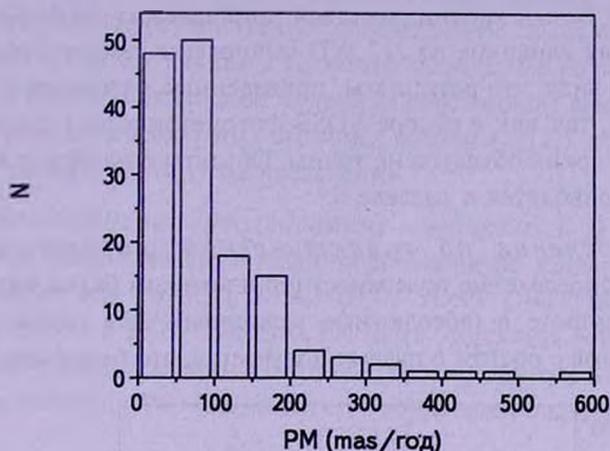


Рис.1. Распределение объектов по собственным движениям PM .

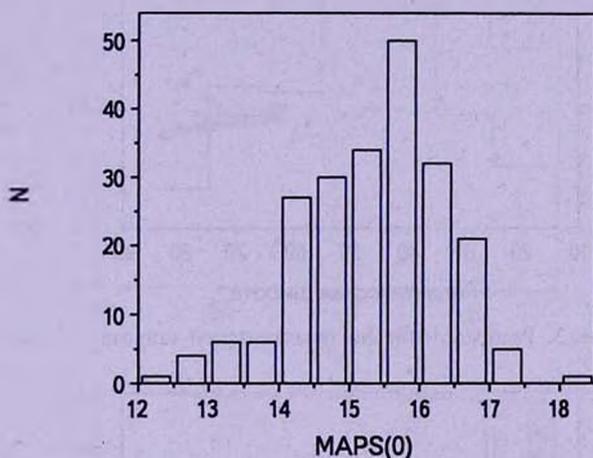


Рис.2. Распределение выборки WD FBS обзора по звездным величинам.

низкодисперсионным спектром и многоволновым данным, как дополнительный критерий, еще неизвестные по природе объекты разбивать на подгруппы вероятных кандидатов. Для белых карликов показатели цвета по каталогам MAPS и USNO-B1.0 меняются в пределах $-0.96 \leq O - E \leq 2.21$, а по фотометрическим данным SDSS[16] в пяти полосах: u , g , r , i и z - $-0.56 \leq u - g \leq 2.47$, $-2.28 \leq g - r \leq 1.73$, $-1.21 \leq r - i \leq 1.70$. Среди белых карликов 2 объекта имеют крайне голубые показатели цвета $O - E = -0.96$ и $O - E = -0.94$, которые классифицированы как DA.

Среди белых карликов встречаются переменные белые карлики, которые

могут быть двойные системы, также пульсирующие белые карлики, показывающие нерадиальные пульсации (переменные типа ZZ Ceti). В подвыборке белых карликов выявлено 3 пульсирующих белых карлика типа ZZ Ceti и 1 белый карлик, который принадлежит двойной системе.

Для 36 белых карликов из 217 WD вычислены температуры [17,18], но надо иметь в виду, что результаты, приведенные в каталоге [18], могут быть не точные, так как в обзоре SDSS фотометрические данные из-за передержки для ярких объектов не точны. Объекты с наиболее высокими температурами приводятся в разделе 8.

4. *Распределение по галактической широте.* На рис.3 представлено распределение поверхностной плотности белых карликов по галактической широте b (абсолютные величины). Для белых карликов плотность объектов с ростом b падает; получается, что белые карлики FBS



Рис.3. Распределение по галактической широте.

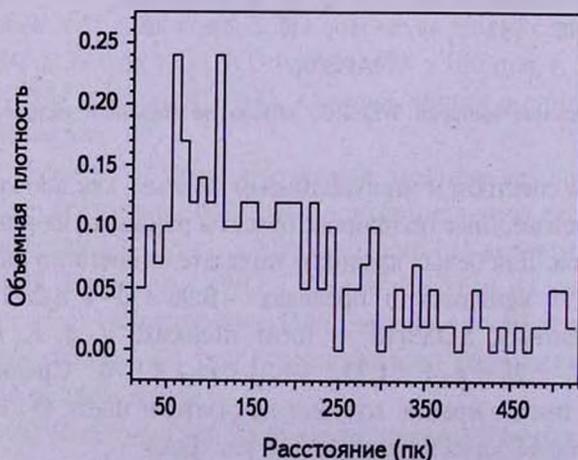


Рис.4. Пространственное распределение белых карликов выборки FBS.

обзора принадлежат промежуточному населению Галактики, как и было принято [19].

5. *Пространственное распределение белых карликов.* На рис.4 представлено пространственное распределение белых карликов выборки FBS. Заметим, что так как была возможна оценка только верхних пределов расстояний (путем определения их точных собственных движений и оценки нижних пределов абсолютных звездных величин, [12]), рис.4 дает только приблизительную картину распределения.

6. *Многоволновое исследование выборки WD обзора FBS.* Для 217 WD была проведена кросс-корреляция по каталогам и по базам данных, таких как MAPS, USNO-B1.0, SDSS DR7 [16], 2MASS [20], ROSAT BSC [21] и FSC [22], GALEX (<http://galex.stsci.edu>). Проводились также кросс-отождествления FBS BSO с базами данных SIMBAD и NED, а также с каталогами WD [16], и спектроскопически подтвержденных SDSS

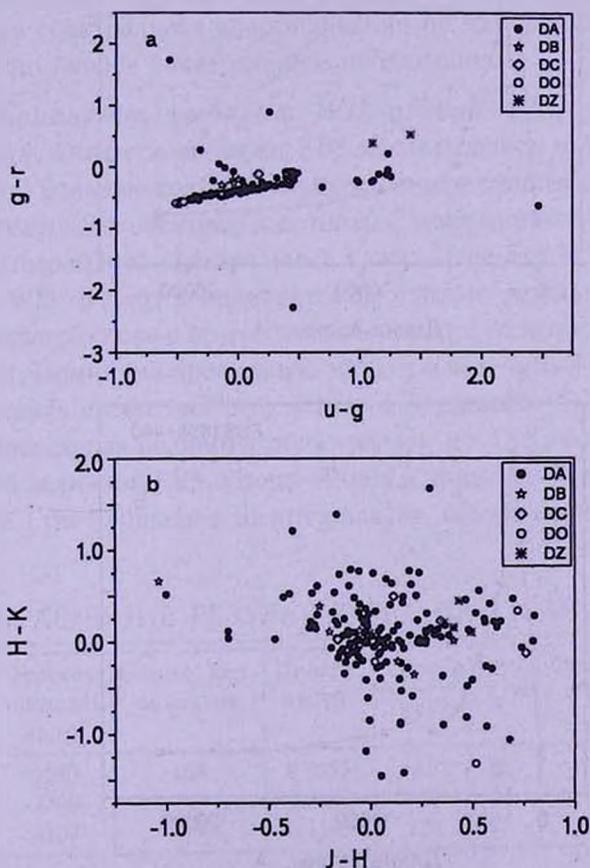


Рис.5а, б. Распределение WD FBS BSO на двухцветных диаграммах SDSS $u-g/g-r$ и 2MASS $J-H/H-K$.

WD [17]. 178 объектов из 217 белых карликов в результате кросс-идентификации с каталогом 2MASS совпадают с инфракрасными источниками, 155 объектов имеют данные по GALEX (ультрафиолет), 23 являются рентгеновскими источниками, 120 из выборки имеют данные по SDSS со звездными величинами в пяти фотометрических полосах u , g , r , i и z . Наличие этих данных позволяет построить двухцветные диаграммы для выборки WD FBS BSO и исследовать неизвестные по своей природе объекты по их распределению. На рис.5а, б приведены диаграммы, построенные по показателям цвета $u-g/g-r$ и $J-H/H-K$.

Все эти данные также вошли в наш электронный каталог. Наличие многоволновых данных позволяет построить многоволновой спектр (рис.6а, б).

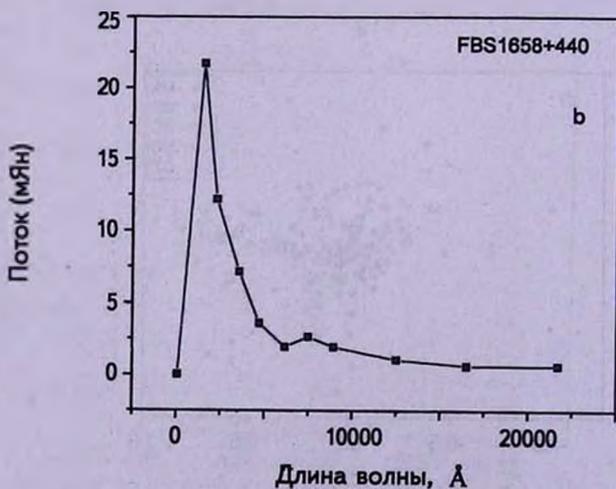
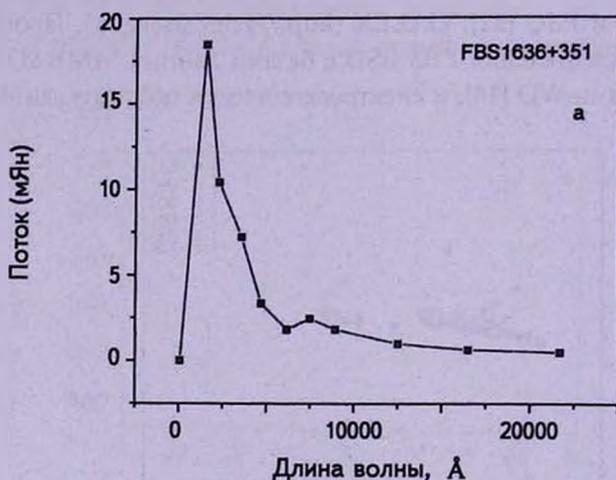


Рис.6а, б. Многоволновой спектр.

7. *Каталог белых карликов обзора FBS.* Все возможные данные подвыборки белых карликов второй части FBS представлены в табл.2*, которая включает 217 объектов. В табл.2 приводится:

1. Номер объекта в обзоре FBS; 2. FBS обозначение $hhmm+ddm$; 3. Зона обзора FBS, где найден данный объект; 4. Координаты DSS2g на эпоху J2000 (RA); 5. Координаты DSS2g на эпоху J2000 (DEC); 6. Галактические координаты (l и b); 7. Низкодисперсионный спектральный (low-dispersion spectra, LDS) тип; 8. Звездная величина B , оцененная в FBS; 9. Звездные величины B и R из DFBS (Digitized First Byurakan Survey) [23]; 10. u, g, r, i, z звездные величины SDSS DR7 [17]; 11. MAPS/USNO O/B1 - звездные величины; 12. MAPS/USNO O/B1-E/R1 - показатель цвета; 13. GALEX nuv и fuw величины; 14. 2MASS JHK фотометрия; 15. Суммарное собственное движение PM (mas/yr); 16. Максимальное расстояние в пк, принимая тангенциальную скорость $v_t = 50$ км/с как верхний предел; 17. MAPS/USNO абсолютные звездные величины O/B1 с учетом максимально возможного расстояния; 18. Окончательная спектральная классификация по базе данных SIMBAD/MCS/SDSS и по нашим спектральным наблюдениям.

8. *Сравнение выборки WD обзора FBS с аналогичными обзорами.* Объекты выборки FBS исследовались и в других работах. В частности, большое количество объектов пересекается с PG каталогом [19], где приведены их спектральные типы. С появлением SDSS стали известны или подтвердились спектральные классы еще для 120 объектов FBS, из них 31 WD. В табл.3 приводится сравнение результатов выполненной части нашего обзора с другими аналогичными обзорами на перекрываемой площади. Принимая предельную звездную величину FBS обзора $B \leq 17.6$, проводились сравнения результатов с каталогом WD [17], а для обзора SDSS предельная величина принималась $g \leq 17.8$, которая соответствует звездной величине FBS обзора. В табл.3 приводится: обозначение обзора, общая с FBS площадь в шести полосах, общее количество объектов на

Таблица 3

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ С ДРУГИМИ ОБЗОРАМИ

Обзор	Пересек. площадь кв.гр.	Общее кол. объектов	Поверх. плотн.	Обн. в FBS		Общее кол. FBS WD	Кол. новых объектов
				кол.	%		
PG	2250	103	0.0457	83	80	217	134
SDSS	3766	257	0.0682	120	47	217	97
WD	4109	479	0.1165	126	26	217	91

* табл.2 приводится только в электронном виде в базе данных CDS Vizier.

этой площади, поверхностная плотность объектов, количество обнаруженных в FBS объектов данного обзора, процент обнаруженных в FBS объектов, общее количество объектов на этой площади, количество новых FBS объектов, отсутствующих в других обзорах.

Таким образом, обзор FBS существенно дополняет выборки WD, что связано со спектроскопическим методом отбора. Большое расхождение в каталоге WD (т.е. обнаружение всего 26% объектов) объясняется наличием в каталоге многих WD, не имеющих УФ-избытка, т.е. объектов поздних классов. SDSS WD в основном голубые, но благодаря лучшему пределу этого обзора, находится также много слабых WD недоступных в FBS.

9. *Наиболее интересные объекты подвыборки WD обзора FBS.* Среди FBS белых карликов имеются некоторые интереснейшие объекты как с точки зрения их физики (магнитные WD, пульсирующие WD, рентгеновские источники), так и с точки зрения их уникальности (объекты с наиболее высокой поверхностной температурой, звезды с большим собственным движением и т.п.). Ниже перечислено и описано 20 из этих объектов с их основными данными, включая 3 рентгеновских источника и 3 пульсирующих белых карлика типа ZZ Cet.

FBS 0742+653 - DO, один из наиболее горячих WD в подвыборке с $T_{\text{eff}} = 80 \text{ kK}$ [17].

FBS 0814+433 - Линии H β , H γ , H δ и H ϵ имеют голубые и красные компоненты. Профили линий имеют форму Лоренцианы. $\text{FWOI} = 80 \text{ \AA}$, $\text{FWHM} = 23.1 \text{ \AA}$.

FBS 1039+412 = HS 1039+4112 - ZZ. Пульсирующий белый карлик (переменная типа ZZ Cet), согласно базе данных SIMBAD, однако не вошедший в Общий каталог переменных звезд (ОКПЗ, [24]). $PM = 72.9 \text{ mas/г}$, $r_{\text{max}} = 144 \text{ пк}$, $M_{\text{obs}} > 10.7$ [12].

FBS 1136+668 = HS 1136+6646 - DAO+K7V. Двойная система. DAO, $T_{\text{eff}} (\text{K}) = 70000$, $\log g = 7.75 \text{ см/с}^2$, период вращения $P = 113^{\text{m}}.13$ [25].

FBS 1307+354 = BG CVn = GD 154 = Ton 1559 = PG 1307+354 = CBS 366 = LSPM J1309+350 - DAV5, ZZA. Пульсирующий белый карлик (переменная типа ZZ Cet) с амплитудой $0^{\text{m}}.09$ (данные о периоде отсутствуют в ОКПЗ). Имеет значительное собственное движение $PM = 229.2 \text{ mas/г}$, $r_{\text{max}} = 46 \text{ пк}$, $M_{\text{obs}} > 12.37$ [12].

FBS 1337+705 - DA2. Имеет значительное собственное движение $PM = 401.7 \text{ mas/г}$ [12].

FBS 1342+443 - DA1. Крайне голубая звезда $B - R = -0.94$.

FBS 1444+637 - DA: Крайне голубая звезда $B - R = -0.96$.

FBS 1459+821 - DB4. Имеет значительное собственное движение $PM = 361.4 \text{ mas/г}$ [12].

FBS 1501+664 - DZ1 согласно [17], что является ошибочной классифи-

кацией. В каталоге PG [19] объект классифицирован как PG 1159 (представляет собой звезду с поверхностной температурой между 75000 K и 200000 K), соответствует классу OVI с эмиссией. Рентгеновский источник 1RXS J150209.2+661220 (на расстоянии 2".7, HR1 = -0.99, HR2 = -0.25), один из наиболее горячих WD в подвыборке с $T_{\text{эф}} = 170$ kK [17].

FBS 1509+613 = SDSS J151026.47+610656.9 - DO. Согласно [26], имеет особенности абсорбционных линий ионов с ультравысоким возбуждением (ultra-high excitation ion - uhei).

FBS 1517+740 - DO. Один из наиболее горячих WD в подвыборке с $T_{\text{эф}} = 95$ kK [17].

FBS 1522+663 - DO. Рентгеновский источник 1RXS J152255.8+660445 (на расстоянии 6".5, HR1 = -1, HR2 = 1), один из наиболее горячих WD в подвыборке с $T_{\text{эф}} = 140$ kK [16], $\log g = 5.5$ см/с².

FBS 1559+369 - DA4.5. Имеет значительное собственное движение $PM = 558.7$ mas/г [17].

FBS 1637+335 - DA5s. Имеет значительное собственное движение $PM = 468.7$ mas/г [17], $T_{\text{эф}} = 9940$ K [27], $M_{\text{obs}} > 12.41$ [12]. Инфракрасные потоки, измеренные космическим телескопом Спитцера (SST): IRAC2 (4.5 мкм) = 0.2648 мЯн, IRAC2 (8.0 мкм) = 0.082 мЯн [27].

FBS 1658+440 = PG 1658+440 - DA2p. Рентгеновский источник 1RXS J165948.2+440059 (на расстоянии 2".1, HR1 = -1, HR2 = 0). Магнитный WD $B_s = 2.3$ МГс, $T_{\text{эф}} = 30510$ K, $\log g = 9.36$ см/с², $M = 1.31 M_{\odot}$ [28].

FBS 1713+696 - DA3. Имеет значительное собственное движение $PM = 346.4$ mas/г.

FBS 2324+397 = V409 And = HS 2324+3944 - DO, ZZO. Пульсирующий белый карлик (переменная типа ZZ Cet) с амплитудой 0^m.15 и периодом $P = 0^d.02477$ [24].

FBS 2329+407 - DA3n. Имеет значительное собственное движение $PM = 345.5$ mas/г [12], $T_{\text{эф}} = 15900$ K, $\log g = 7.91$ см/с² [29].

10. *Заключение.* В данной работе приведены результаты исследований подвыборки белых карликов второй части FBS обзора. Было выявлено 217 WD, среди которых основную часть составляют DA карлики, а также встречаются подклассы DO, DOB, DB, DAB, DAZ, DZ и DC. В результате многоволновых исследований выборки WD обзора FBS, было выявлено 178 объектов из 217 белых карликов, которые совпадают с инфракрасными источниками 2MASS, 155 объектов имеют данные по GALEX (ультрафиолет), 23 являются рентгеновскими источниками, 120 из выборки имеют данные по SDSS с звездными величинами в пяти фотометрических полосах *u*, *g*, *r*, *i* и *z*. После сравнения выборки WD обзора FBS с аналогичными обзорами (PG и SDSS) и с каталогом WD, можно сказать, что обзор FBS существенно дополняет выборки WD, что

связано со спектроскопическим методом отбора. Большое расхождение с каталогом WD (т.е. обнаружение всего 26% объектов) объясняется наличием в каталоге многих WD не имеющих УФ-избытка, т.е. объектов поздних классов. SDSS WD в основном голубые, но, благодаря лучшему пределу этого обзора, слабые WD находятся легче. Приведены также средние величины B и R , а также средняя величина длины низкодисперсионных спектров белых карликов из DFBS, которые позволят в дальнейшем моделировать шаблоны спектров для отдельных типов объектов для автоматического поиска голубых звездных объектов на всей площади (17000 кв. гр.) DFBS, что увеличит их число примерно в 4 раза.

Авторы выражают благодарность фонду МНТЦ за поддержку работы грантом А-1606.

Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна,
Армения, e-mail: spk7711@gmail.com aregmick@aras.am

THE SUBSAMPLE OF WHITE DWARFS OF THE FBS BLUE STELLAR OBJECTS

P.K.SINAMYAN, A.M.MICKAELIAN

We present the results of the study of the subsample of WD from the second part of FBS survey. 217 WD from FBS survey have been revealed. The main part of WD are of DA subtype, as well as subtypes DO, DOB, DB, DAB, DAZ, DZ and DC are present. Multiwavelength investigations of the subsample have been carried out. 178 from 217 WD are 2MASS infrared sources, 155 have data from GALEX (ultraviolet), 23 WD are ROSAT X-ray sources, 120 have SDSS photometric magnitudes in five bands: u , g , r , i and z . Also a comparison of the subsample of WD has been carried out with similar surveys (PG and SDSS). Average magnitudes B and R , as well as average value of the length of low-dispersion spectra of WD from DFBS are given.

Key words: *surveys: white dwarfs*

ЛИТЕРАТУРА

1. *B.E.Markarian, V.A.Lipovetski, J.A.Stepanian et al.*, Commun. Special Astrophys. Obs., **62**, 5, 1989.
2. *Г.В.Абрамян, А.М.Микаелян*, Астрофизика, **35**, 315, 1996.
3. *H.V.Abrahamian, V.A.Lipovetsky, A.M.Mickaelian, J.A.Stepanian*, CDS, Strasbourg, Catalog No. II/223, 1999.
4. *Г.В.Абрамян, А.М.Микаелян*, Астрофизика, **35**, 363, 1991.
5. *A.M.Mickaelian, A.C.Gonçalves, M.P.Véron-Cetty, P.Véron*, Astrophysics, **42**, 1, 1999.
6. *A.M.Mickaelian, A.C.Gonçalves, M.P.Véron-Cetty, P.Véron*, Astrophysics, **44**, 14, 2001.
7. *A.M.Mickaelian, H.V.Abrahamian, J.Guibert, R.Chesnel*, Astrophysics, **45**, 73, 2002.
8. *П.К.Синамян, А.М.Микаелян*, Астрофизика, **49**, 333, 2006.
9. *П.К.Синамян, А.М.Микаелян*, Астрофизика, **51**, 37, 2008.
10. *П.К.Синамян, А.М.Микаелян*, Астрофизика, **51**, 226, 2008.
11. *П.К.Синамян, А.М.Микаелян*, Астрофизика, **52**, 76, 2009.
12. *A.M.Mickaelian, P.K.Sinamyun*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **407**, 681, 2010.
13. *J.E.Cabanela, R.M.Humphreys, G.Aldering et al.*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **115**, 837, 2003.
14. *D.G.Monet, S.E.Levine, B.Casian et al.*, Astron. J., **125**, 984, 2003.
15. *A.M.Mickaelian*, Astron. J., **136**, 946, 2008.
16. *J.K.Adelman-McCarthy, M.A.Agueros, S.S.Allam et al.*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **175**, 297, 2008.
17. *G.P.McCook, E.M.Sion*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **121**, 1, 1999 (Version 2006 in CDS, Catalog No. III/235A).
18. *D.J.Eisenstein et al.*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **167**, 40, 2006.
19. *R.F.Green, M.Schmidt, J.Liebert*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **61**, 305, 1986.
20. *R.M.Cutri et al.*, The 2MASS All-Sky Catalog. Final Release, University of Massachusetts and IPAC/California Institute of Technology, 2003.
21. *W.Voges et al.*, Astron. Astrophys., **349**, 389, 1999.
22. *W.Voges et al.*, MPE, Garching, 2000.
23. *A.M.Mickaelian, R.Nesci, C.Rossi et al.*, Astron. Astrophys., **464**, 1177, 2007.
24. *N.N.Samus, O.V.Durlevich et al.*, General Catalog of Variable Stars (GCVS database, Version 2010Jan).
25. *D.K.Sing et al.*, Astron. J., **127**, 2936, 2004.
26. *J.Krzyszinski, A.Nitta, S.J.Kleinman et al.*, Astron. Astrophys., **417**, 1093-1099.
27. *F.Mullally, Mukremin Kilic et al.*, arXiv:astro-ph/0611588v1, 17 Nov 2006.
28. *G.D.Schmidt, P.Bergeron, J.Liebert, R.A.Saffer*, Astrophys. J., **394**, 603, 1992.
29. *Holberg et al.*, Astron. J., **132**, 1221H, 2006.