

ԱՍՏՂԱՖԻԶԻԿԱ

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 44

МАЙ, 2001

ВЫПУСК 2

- МОРФОЛОГИЯ КАРЛИКОВЫХ ГАЛАКТИК МАРКАРЯНА
А.Р.Петросян, Дж.Маккенти, Б.Мклин 175
- О КРИВЫХ ВРАЩЕНИЯ ГАЛАКТИК В РАЗНОМ ПРОСТРАНСТВЕННОМ ОКРУЖЕНИИ
Е.А.Евстигнеева, В.П.Решетников 193
- ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛАКТИК ВТОРОГО БЮРАКАНСКОГО ОБЗОРА НЕБА. III. СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ В ПЛОЩАДКАХ 09^h47^m , $+51^\circ$ И 09^h50^m , $+55^\circ$
С.К.Балаян, С.А.Акопян, В.Л.Афанасьев, С.Н.Додонов 199
- НОВЫЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О ЯДРАХ ГАЛАКТИК KAZ 26 И KAZ 73
М.А.Казарян, Ж.Р.Мартirosян 207
- НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, КАСАЮЩИЕСЯ ИЗУЧЕНИЯ СТРУКТУРЫ СКОПЛЕНИЯ ДЕВА
Н.Г.Когошвили, Т.М.Борчхадзе 217
- ОПТИЧЕСКИЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ IRAS. ГАЛАКТИКИ. VII
А.М.Микаелян 227
- О СВЯЗИ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ТИПА ЯРЧАЙШЕЙ ГАЛАКТИКИ И МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ ОСТАЛЬНЫХ ЧЛЕНОВ В ШИРОКИХ ГРУППАХ ГАЛАКТИК
А.П.Магтесян, В.Г.Мовсесян 243

(Продолжение на 4-й стр. обложки)

ЕРЕВАН

Выходит с 1965г.
на русском и английском языках

Խմբագրական կոլեգիա

Գլխավոր խմբագիր՝ Գ.Մ.Սեդրակյան (Հայաստան)

Գլխավոր խմբագրի տեղակալներ՝ Վ.Գ.Գորբաչկի (Ռուսաստան), Է.Ե.Նաչիկյան (Հայաստան)

Պատասխանատու քարտուղար՝ Ա.Տ.Բալլոդյան (Հայաստան)

Գ.Ս.Բինոզյան-Չոգան (Ռուսաստան), Ա.Ա.Բոյարչուկ (Ռուսաստան), Վ.Պ.Գրինին (Ռուսաստան-Ուկրաինա), Վ.Վ.Իվանով (Ռուսաստան), Ի.Գ.Չարաչինսկի (Ռուսաստան), Գ.Կոնստ (Ֆրանսիա), Ա.Գ.Նիկողոսյան (Հայաստան), Է.Ս.Պարսամյան (Հայաստան), Գ.Ն.Սարգսյան (Վրաստան), Ե.Թիրվյան (ԱՄՆ):

Редакционная коллегия

Главный редактор: Д.М.Седракян (Армения)

Заместители главного редактора: В.Г.Горбачкий (Россия), Э.Е.Хачикян (Армения)

Ответственный секретарь: А.Т.Каллоглян (Армения)

Г.С.Бисноватый-Коган (Россия), А.А.Боярчук (Россия), В.П.Гринин (Россия-Украина), В.В.Иванов (Россия), И.Д.Караченцев (Россия), Д.Кунт (Франция), А.Г.Никогосян (Армения), Э.С.Парсамян (Армения), Г.Н.Салуквадзе (Грузия), Е.Терзян (США)

"АСТРОФИЗИКА" - научный журнал, издаваемый Национальной академией наук Республики Армения. Журнал печатает оригинальные статьи по физике звезд, физике туманностей и межзвездной среды, по звездной и внегалактической астрономии, а также статьи по областям науки, сопредельным с астрофизикой. Журнал предназначается для научных работников, аспирантов и студентов старших курсов.

"ԱՍՏՐՈՖԻԶԻԿԱ"-ն գիտական հանդես է, որը հրատարակում է Հայաստանի Հանրապետության Գիտությունների Ազգային Ակադեմիան: Հանդեսը տպագրում է ինքնատիպ հոդվածներ աստղերի ֆիզիկայի, միգամածությունների և միջաստղային միջավայրի ֆիզիկայի, աստղաբաշխության և արտագալակտիկական աստղագիտության, ինչպես նաև աստղաֆիզիկայի սահմանակից բնագավառների գծով: Հանդեսը նախատեսված է գիտական աշխատակիցների, ասպիրանտների և բարձր կուրսերի ուսանողների համար:

Адрес редакции: Республика Армения, Ереван 19, пр. Маршала Баграмяна 24
Редакция ж. "Астрофизика", тел. 56 81 38

e-mail: astrofiz @ sci.am

© Издательство "Гитутюн" НАН Республики Армения, Астрофизика, 2001

УДК: 524.74

THE MORPHOLOGIES OF DWARF MARKARIAN GALAXIES

A.R.PETROSSIAN¹, J.W.MACKENTY², B.J.MCLEAN²

Received 9 August 2000

Accepted 15 January 2001

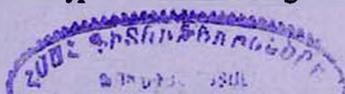
The morphologies of the 96 dwarf ($M(B) \geq -17^m$) galaxies in the Markarian catalog are determined from the digitized Schmidt plates obtained for the construction of the Hubble Space Telescope Guide Star Catalog. The fraction of double nucleus galaxies within the dwarf Markarian galaxies is determined to be twice that found for all galaxies in the Markarian catalog. In addition to the 12 previously known cases, four definite and two probable galaxies with double nuclei are identified. The fraction of dwarf Markarian galaxies with bright star forming regions is found to be twice that of Virgo cluster dwarf galaxies. No Elliptical galaxies are found in the sample. Galaxies with blue compact dwarf and S0 morphologies are more often found to contain unresolved regions of UV excess emission. Dwarf Markarian galaxies with different morphological structure and spectral classes are found to have similar FIR properties.

1. *Introduction.* Understanding the relationship between the morphology of galaxies and their general properties has been one of the most interesting and yet time-consuming objectives of modern astronomical research. Since morphological structure is a fundamental property of a galaxy any sample selected by any other parameter or property should be kept morphologically homogeneous. This paper examines the morphologies and general properties of a sample of dwarf galaxies drawn from the sample of 1500 UV excess galaxies cataloged by the First Byurakan Spectral Sky Survey (FBS; [1,2] and references therein).

The FBS objective prism survey selected galaxies on the basis of their strong ultraviolet continuum radiation. About 10% of the Markarian galaxies have Seyfert nuclei [3] while about 80% have rather uniform spectral properties resembling those of HII regions. These galaxies have been classified variously as starburst galaxies [4,5], HII galaxies [6], and Blue Compact Dwarf galaxies [7] based primarily on their spectral properties and without a systematic investigation of their morphological structures.

Absence of information on the morphological structure of these galaxies has in some cases led to the multiple classifications. More than ten galaxies (e.g. Mrk 140, 206) have been classified as BCDGs [7] and as galaxies with starburst nuclei [5].

The Markarian galaxies have been used by many authors to study general statistical trends and to build up a coherent physical picture of star formation, the AGN phenomenon, and the connection between AGN and star formation. Because morphological misclassifications can confuse such studies, and to obtain a better understanding of the natures of the various types of Markarian galaxies,



we are conducting a study of the morphological properties of the Markarian galaxies to form a complete and homogeneous database of their morphological structure. In this paper data on the dwarf Markarian galaxies are presented.

In Section 2 we describe the sample of the dwarf Markarian galaxies. In Section 3 we present data on their morphological structures, FBS spectra, diameters, and IRAS fluxes. In Section 4 we discuss the results and look at correlation among several parameters. Our conclusions are presented in Section 5.

2. Definition of the Sample of Markarian Dwarf Galaxies. All galaxies with blue absolute magnitudes $M(B) \geq -17^m$ were selected from the FBS catalog [2] yielding a sample of 96 galaxies (Table 1). Because magnitude estimates by Markarian and colleagues at the fainter apparent magnitudes were based in part on the objective prism plates which only estimate the magnitude of the emission regions [1], about 30% of the galaxies in the dwarf sample have apparent magnitudes that are typically 1 to 1.5 magnitudes fainter than the true total photographic or B-magnitudes of these galaxies (see [8]). Therefore some of the galaxies in our sample may be more luminous than expected; galaxies for which this may be a factor are indicated in Table 1 with an ***. Distances for each galaxy are obtained mostly from the redshifts presented in [2] assuming a uniform Hubble expansion of $75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$. After 1989 for a number of dwarf Markarian galaxies, new, more accurate determinations of redshifts have been done. For these cases newly determined redshifts have been used. For the four galaxies with $V(R) < 500 \text{ km s}^{-1}$ distances are taken from [9]. The galaxies blue luminosities, in solar units (where $M_0(B) = +5.48$), are calculated using the photographic absolute magnitudes presented in [2] with a correction for galactic absorption of $A = 0.2 \text{ csc}(b)$ ". The transformations from photographic to B magnitudes were performed according to [10].

3. Results. Morphologies. To support the operation of the Hubble Space Telescope (HST), Palomar Observatory and the Space Telescope Science Institute jointly undertook the "Quick V" survey of the northern sky using the 1.2m Oschin Telescope at Palomar Mountain during the 1980's. Patterned on the National Geographic Palomar Observatory Sky Survey (POSS-I), this survey was conducted to provide recent epoch observations from which, together with the SERC UK Schmidt J band survey in the southern hemisphere, to construct an all sky astrometric catalog of stars appropriate for the HST guidance system. The HST Guide Star Catalogue (GSC, [11-13]) was derived from this material. The plates were digitized with a PDS-2020G microdensitometer with a pixel size of $25 \mu\text{m}$ (corresponding to 1.7 arcsec at a plate scale of $67 \text{ arcsec mm}^{-1}$).

From these digitized plates, $15 \times 15 \text{ arcmin}$ regions centered on each Markarian galaxy were extracted for this study. Since the northern plate material was originally intended for the measurement of stellar objects between 12 and 19 magnitudes, it is more suitable for the morphological study of Markarian galaxies

(which are typically between 14 and 17 magnitude) than the often overexposed images on the POSS. 82 of the 96 galaxies in this study are on the northern plates. Furthermore, the uniformity of the GSC survey plates makes them useful for examining the structural features of galaxies. 14 dwarf Markarian galaxies, with low declinations, are in the plates of the Equatorial Extension of SERC UK Schmidt *J* survey. These galaxies are indicated in Table 1 in bold letters.

Using both digital images and isophotal maps (which display the large dynamic range of the images), we classified the sample of dwarf Markarian galaxies within the modified Hubble sequence (E - S0 - Sa - Sb - Sc - Sd - Sm - Im) and the extension Blue Compact Dwarf (BCD).

While it is relatively simple to classify large scale galaxies in this sequence (for example Mrk 170 as SBc type galaxy), the most difficult types to classify morphologically are the compact galaxies. More than 60 galaxies in our sample have designations as compact or spherical objects in Markarian's original lists ([2] and references therein). We have re-classified each galaxy in our sample according to the criteria listed in Table 2. Mrk 223 and Mrk 1308 respectively are examples of the S0 and BCD type galaxies. Markarian irregular galaxies usually contain at least one giant star forming region that is the main source of the excess UV radiation. Sandage and Binggeli [14] designate giant HII regions in irregular galaxies as BCDs. We have expanded this approach by classifying such galaxies by the composite notation Im/BCD when the underlying Im system dominates and by BCD/Im when the BCD component (oftentimes with several knots) dominates. Mrk 5 and Mrk 192 respectively are examples of Im/BCD and BCD/Im type galaxies. In five cases (Mrk 71, 94, 404, 1039 and 1315) the Markarian "galaxies" are actually giant HII complexes within larger galaxies. These cases are noted in Table 1 as BCD/HII and are excluded from our analysis in Section 4.

In Fig.1, as examples of S0, spiral, Im/BCD, BCD/Im, BCD and BCD/HII objects, images of the Mrk 223, 170, 5, 192, 1308 and 1039 are shown as both halftone images and contour plots. For Mrk 1039 the position of Markarian object in its host galaxy is marked. The field size (and thus magnification) was selected individually for each galaxy to clearly illustrate their individual morphological structures. In the same fashion, the contour levels vary from galaxy to galaxy to better show the inner as well as outer structure of each galaxy. In all cases, the lowest contour level corresponds roughly to a surface brightness of about $25 \text{ mag arcsec}^{-2}$ (see below).

FBS Spectral Classifications. Markarian [1] assigned a spectral classification for each UV excess galaxy that describes the degree of condensation of the UV emission and its relative intensity. This scheme classifies the UV emitting regions as stellar (s) type or diffuse (d) type where the halfwidth of emission regions are of the order of 2 or 6-8 arcsec, respectively. The intermediate types (sd) and (ds) are also used. A number between 1 and 3 is used to indicate the

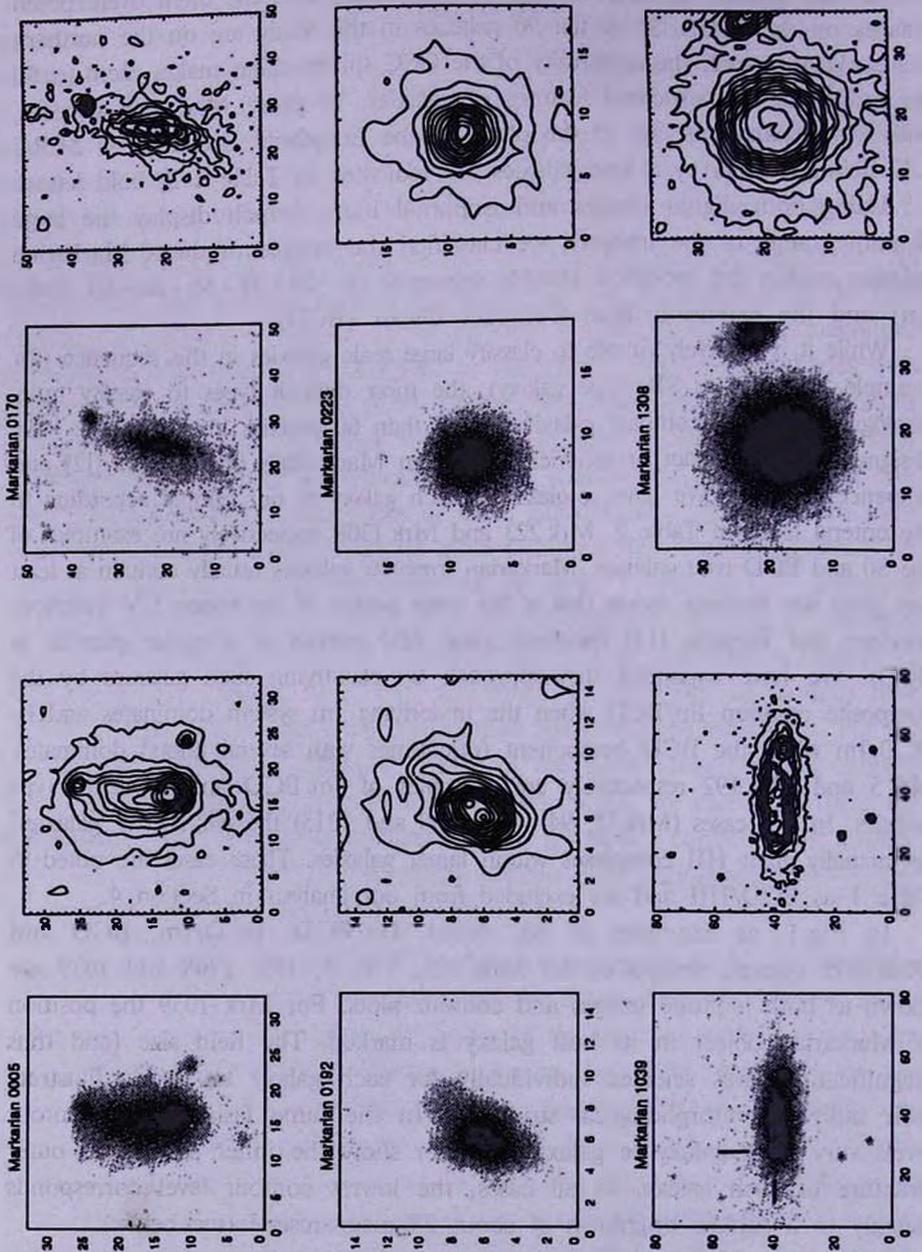


Fig.1. As example of S0, spiral, Im/BCD, BCD/Im, BCD and BCD/HII objects gray-scale representations and contour plots of V images of Mrk 223, 170, 5, 192, 1308 and 1039 are presented. The position of Mrk 1039 in its host galaxy is marked. North is up and east is to the left. The axes units are in pixels on the digitized plates where 1 pixel corresponds to 1.7 arcsec. The contour levels were selected to "best" reveal the structure of each galaxy.

relative intensity of the UV emission with 1 being the greatest UV excess.

Diameters and Magnitudes. The major diameters of dwarf Markarian galaxies were measured from the faintest isophote in each of our images. To estimate the surface brightness of these isophotes, we compared our measured V -band linear diameters and the [7] 25 B mag arcsec $^{-2}$ linear diameters for the 41 dwarf galaxies common to both samples. The [7] linear diameters were recalculated using the redshifts of [2]. The relation between the [7] diameters and our diameters is well correlated ($r=0.91$) and is shown in Fig.2. The slope of linear interpolation of the relation is equal to 0.94 ± 0.07 . Because the galaxies

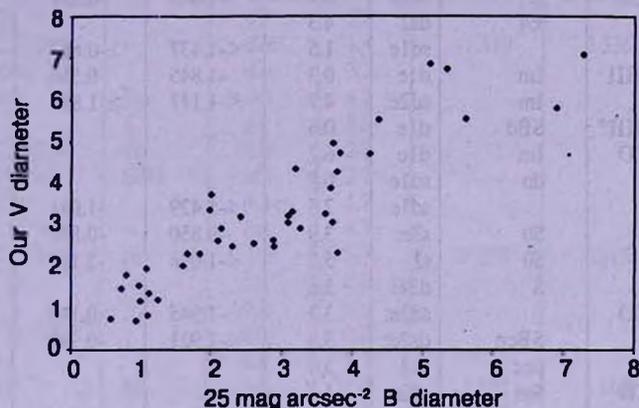


Fig.2. Comparison between our V linear diameters (in kpc) and [7] 25 mag arcsec $^{-2}$ in B -band diameters (in kpc).

in common are mostly BCDs no morphological segregation was done. Since diameters of the galaxies in B and V colors usually are equal (e.g. [15,16]), then on average our V isophotal diameters are about 25 mag arcsec $^{-2}$ or slightly less.

IRAS Source Identifications and Fluxes. From the IRAS Faint Source Catalog Version 2.0 (FSC2; see [17]) and the digitized optical images, far infrared FSC2 sources were matched with the galaxies in our sample. All IRAS sources within 2 arcmin of each Markarian galaxy were carefully examined by plotting the positions of the FSC2 source(s) on the 15 x 15 arcmin images. If the positions agreed to within 30 arcsec and no confusing optical or IRAS sources were present then a definite identification was made. In this fashion we identified 37 of the dwarf galaxies in our sample with sources in the FSC2. All identified objects are included also in a multifrequency radio continuum and IRAS faint source survey of Markarian galaxies [18]. In Table 1 the $\alpha(25,60)$ and $\alpha(60,100)$ spectral indexes (columns 6 and 7), and logarithmic FIR to B luminosity ratios (column 8) are reported. The FIR flux has been computed according to [19] and reflects the output over the 40 to 120 μ m region. The B magnitudes are as defined in Section II.

MARKARIAN DWARF GALAXIES

Mrk	Morph	Old Morph	Sp	$D(kpc)$	$\alpha(25,60)$	$\alpha(60,100)$	$\log FIR/B$
1	2	3	4	5	6	7	8
5	Im/BCD	Im	d1e	2.6	<-1.568	-2.738	-0.49
22	BCD/Im		d1e	3.7			
27	BCD	pec	d1	2.6			
32	Im/BCD	pec	d2	1.2			
36	Im/BCD	Im	d1e	1.8	<-0.777	-2.167	-0.29
46	S0		d3	6.9			
49	Im/BCD	E	ds1e	6.9	<-1.649	-0.251	-0.54
51	S0	E4	ds2	4.3			
67	BCD		sd1e	1.5	<-1.437	≥ -0.613	<-0.07
71	BCD/HII	Im	d1e	0.3	-1.845	-0.556	-1.10
89	S0	Im	sd2e:	4.7	<-1.117	≥ -1.826	<-0.62
94	BCD/HII?	SBd	d1e	0.6			
108	Im/BCD	Im	d1e	6.7			
116	BCD	db	sd1e	0.8			
140	S0/a		sd1e	2.5	<-1.429	-1.041	-0.59
149	S0	S0	s3e:	3.9	-0.850	-0.841	-0.80
151	S0	S0	s2	5.5	<-1.098	-2.195	-0.71
164*	Sb	S	d3e:	5.6			
169	Im/BCD		sd2e:	3.3	-1.945	-0.180	0.23
170	SBc	SBcp	ds2e:	5.8	<-1.921	-0.932	-0.65
177	BCD	pec	ds2	3.0			
178	Im/BCD	Sm	sd2e	1.2			
186	SB0/a	SB0/a	ds1e	2.3	-2.302	-1.630	-0.78
192*	BCD/Im		s3e:	5.2			
206	BCD		s1e:	3.2	-1.920	-0.631	0.07
209	Im/BCD	Sm?	d1e	0.7			
223	S0		s1e:	2.0	-2.161	-0.837	-0.19
224	Im/BCD	Im	d3	2.9			
234	Sb	S0/a	d3e:	5.5			
263*	S0		sd1e	2.5	<-1.334	-2.057	-0.15
277	Im/BCD	Im	d1e:	6.7	<-1.460	-1.917	-0.44
324	BCD		d2	2.3			
328	SB0	SBbpec	ds1e	3.2			
404	BCD/HII	SABbc	d2	0.8	-2.485	-1.352	1.13
407	S0		sd3e:	3.3			
408	S0		ds2e:	4.3	≤ -1.930	-1.708	-0.61
411	S0		d3	4.7	≤ -0.265	-1.138	-0.75
416	S0	S0	sd2e:	7.1	≤ -1.399	-0.936	-0.33
426	Sc	Sc	d3	5.0			
429	S0		ds2e:	2.9			
450	Im/BCD	Im	d1e	3.1	≤ -1.501	-1.076	-0.49
475*	BCD		ds2e	0.7			
487	BCD		d2e	1.3	≤ -1.317	-1.462	-0.59
600	Im/BCD	SBb	d2e	3.3			
641*	BCD		sd2e:	2.5			
675*	S0		d2	5.3			
714	BCD		ds3	1.9			
724*	BCD		sd1e	1.9			
746	Sb	Im	d2	4.1			
747	S0/a		d2e:	2.3			
750	BCD/Im		ds2e	1.4	≤ -0.936	-1.263	-0.30

Table 1 (continued)

1	2	3	4	5	6	7	8
756	BCD		s2e	4.1	≤-0.758	-1.851	-0.41
757	BCD		d3	1.5			
772	BCD/Im	E0	s3	3.8			
773	Im/BCD	S	d3e:	2.6	≤-1.961	0.299	-0.80
786	BCD/Im		ds2e	3.5	≤-1.416	-1.289	-0.60
826*	Im/BCD		ds3	1.8			
850*	BCD		s2	2.3			
900	BCD/Im	E	d2	4.2	≤-1.020	-2.352	-0.57
931*	S0		d3e	10.7			
996*	BCD		ds2e	5.6	≤-1.050	≥-1.045	≤-0.24
1025*	SBb		d2	5.8			
1039*	BCD/HII		d2e	1.4	-1.819	-0.536	0.27
1042*	Sbpec		d3e	3.3			
1131*	SBab	Im	ds3	4.2			
1153	Sc	S	d3	8.9			
1263*	BCD/Im	db	d1e	2.8			
1264	S0/a	S0/a	sd3	2.7			
1271	BCD		ds1e	1.7			
1306*	BCD/Im		ds1	4.7			
1307	BCD/Im	pec	d1e	3.3	-2.257	0.102	-0.57
1308	BCD		s1e	4.0			
1313*	S0		ds2	4.2			
1315	BCD/HII?		d1e	0.6			
1323	SBa		d3	3.3			
1333*	SBb	S?	ds3e:	19.2	≤-1.752	-1.163	0.25
1335	S0		sd2e:	2.4	≤-0.607	-0.424	-0.49
1338	S0pec		d3	3.9			
1342*	SB0		d3e:	10.5	≤-1.060	-1.386	-0.41
1369*	S0pec		ds1e	5.0	≤-1.315	-0.792	0.36
1384*	BCD		sd1e:	2.5			
1390	SBb	S?	d3	3.8			
1416*	BCD		d1e	3.9			
1418	Im/BCD	pec	sd2e:	2.8	≤-1.837	-1.328	-0.98
1423	S0	S	sd2e	4.8			
1426*	BCD		d3e:	2.0			
1427	S0		d3	5.6			
1434*	BCD		ds1e	2.0			
1445*	Sab		ds2e	4.6			
1446*	BCD		sd2e	5.0			
1450	BCD		sd1e	1.0	≤-1.161	-1.415	-0.47
1460*	BCD		d2e:	0.9			
1479	SBdm	SABdm	ds2e	1.0			
1480*	BCD		sd1e	2.5			
1481*	BCD		d1e	2.2			
1499	BCD		ds1e	4.7	≤-1.962	-1.721	-0.12

Notes to Table 1

The columns contain (1) the Markarian number. "*" marks galaxies which may be more luminous than expected, (2) the morphological type in the present classification scheme (see text for the meanings of the designations), (3) the morphological classification according to [2], (4) the spectral classification from [2], (5) the linear diameter in kiloparsecs at about 25 V magnitudes arcsec⁻² diameter, (6) the $\alpha(25,60) = -\log(f_z/f_{60})/\log(25/60)$ spectral index, (7) the $\alpha(60,100) = -\log(f_{60}/f_{100})/\log(60/100)$ spectral index, and (8) the ratio of FIR to blue luminosity. Alternate names and additional information on the morphological structure for some individual galaxies are given in the Appendix.

4. *Discussion. Morphologies.* [2] provide morphological information for 42 of the 96 dwarf galaxies in our sample. Our study confirms the nature of 7 of these and provides a more accurate classification of 19 others. However, in 16 cases our classifications differ. Of these 56% had been assigned earlier and 25% later morphological classifications than obtained in the present study. In three cases (Mrk 71, 94 and 404) the Markarian object is actually an HII region in a large galaxy. For those galaxies [2] presented the morphological class of the parent galaxy. For the 23 dwarf galaxies in our sample classified as Compact in [8], we provide more accurate classifications.

On the basis of higher resolution images than the POSS, 12 galaxies in our sample previously had been defined as "double nucleus" galaxies on (Mrk 22, 116, 186, 324, 487, 600, 786, 900, 1263, 1307, 1426 and 1479). We find evidence that four additional objects (Mrk 192, 996, 1323 and 1342) have "double nucleus" structure and suspect that two others (Mrk 1025 and 1306) also have "double nucleus" structure. In eight cases the galaxies with "double nucleus" structures have Im/BCD or BCD/Im morphologies, in five cases BCD morphologies, in four cases spiral and in one case S0 morphologies.

A reasonable interpretation of the "nuclei" in the Irregular and BCD galaxies may be that they are actually giant HII regions. Their real nuclear nature in spiral galaxies remains to be confirmed.

The fraction of "double nucleus" galaxies in our sample (19%) is twice that expected for the entire sample of Markarian galaxies [20]. Most (89%) of the dwarf Markarian galaxies with "double nucleus" structures are found among the galaxies with diffuse spectra (d) and (ds).

Table 2

CLASSIFICATION CRITERIA

E	S0	BCD
The concentration of the brightness must be situated symmetrically about the galaxy center.	The concentration of the brightness must be situated approximately symmetrically about the galaxy center.	The concentration of the brightness can be shifted from the center of symmetry of the whole galaxy.
All isophotes of the galaxy must be symmetrical and well shaped.	Only inner isophotes of the galaxy must be approximately symmetrical.	Inner as well as outer isophotes are asymmetrical and disturbed.
Radial intensity distribution in one component.	There is evidence of a two component bulge-disk structure from the radial intensity distribution.	There is evidence of a one component structure from the radial intensity distribution which gradient and peak surface brightness is lower than in the case of the dwarfs classification as S0s. Usually two or more brightness concentrations are present.

The morphological type distribution for the dwarf Markarian galaxies with other parameters is shown in Table 3. No Elliptical galaxies (as defined in Table 2) are found in our sample. In a sample of 87 Markarian galaxies (excluding Mrk 171, 271, 430 and 496 since they are closely interacting or disturbed systems), [3] found 15% of the galaxies to be Ellipticals (with 10% S0, 62% Spiral, and 13% Irregular galaxies). However, [21] finds that the Markarian galaxies classified as Elliptical by [3] are not normal Elliptical galaxies and that the fraction of normal Ellipticals among the Markarian galaxies is less than 1%. Our data are in good agreement with this conclusion. The high fraction of Irregular as well as BCD galaxies among dwarfs, compared with the total sample of Markarian galaxies, is mainly a luminosity effect.

The distribution of morphologies in the sample of 92 Virgo cluster dwarfs of [14] is given in Table 3. The selection of the dwarf Markarian sample on the basis of strong UV excess radiation (which directly relates to current high star formation rates) accounts for the reduced fraction of early type galaxies and the enlarged fraction of the late type galaxies with bright star forming centers (giant HII regions) or BCDs in the Markarian sample.

There is a higher fraction of S0 galaxies in our sample than in the Sandage and Binggeli [14] sample of Virgo cluster dwarfs. A central stellar nucleus is observed in the direct images of some of these (e.g. Mrk 263, 407). These objects may be similar to RMB56 [22] with an exponential disk resembling a compact Sm or Im galaxy seen face-on and a compact HII region at its center. Or they may resemble Haro 2 [23] with a nuclear star forming region superimposed on a low surface brightness (i.e. low star formation rate) elliptical component. In either case these S0 galaxies share a number of

Table 3

SEVERAL PARAMETERS FOR DWARF MARKARIAN GALAXIES

Morphology	Percentage of sample (present paper)	Percentage of Virgo dwarfs [14]	z	M_j	$D(\text{kpc})$	(s+sd):(ds+d)
dE	-	34%	-	-	-	-
S0	22%	-	$0.0060 \pm .0027$	$-16.25 \pm .33$	4.86 ± 2.31	0.38:0.62
dS0	-	9	-	-	-	-
Spiral	20	8	$0.0056 \pm .0025$	$-16.27 \pm .25$	5.03 ± 3.86	0.16:0.84
Im	-	30	-	-	-	-
Im/BCD and BCD/Im	25	-	$0.0038 \pm .0022$	$-15.80 \pm .41$	3.34 ± 1.73	0.21:0.79
Im/BCD	-	6	-	-	-	-
BCD	28	13	$0.0081 \pm .0016$	$-15.62 \pm .41$	2.51 ± 1.30	0.44:0.56
BCD/HII	5	-	-	-	-	-

characteristics with the BCDs.

It is well known that the fraction of spiral galaxies drops sharply among galaxies less luminous than $M(B) = -17^m$ (e.g. [24]). The rate of spiral galaxies in the sample of dwarf Markarians is 20%. If we will not account spiral galaxies with possibly higher luminosities that dwarfs sample selection limit (spirals marked with "*" in the Table 1), the rate of spiral galaxies will become 12%. It is close to the rate of spiral galaxies in the Virgo dwarf galaxies sample [14].

FBS Spectral Type. In the galaxies where the UV excess radiation is related to the enhanced star formation, the extent of the UV emitting region indicates whether the enhanced star formation occurs in an isolated region or extends over a large portion of the galaxy. We note that selection effects introduced by the large range of redshifts and hence linear sizes must be taken in account. In Table 3 the fractions of stellar (s + sd) and diffuse (d + ds) spectral class objects for each morphological type of dwarf Markarian galaxy are presented. To control for selection effects, the average blue absolute magnitudes, redshifts and linear diameters are also reported. Since BCDs have significantly higher redshifts, smaller linear sizes and lower luminosities that dwarfs of other morphological types, higher fraction of compact UV excess regions in them partially can be due by selection effects. Higher fraction of compact UV excess regions in S0 galaxies result from concentration of star formation activity in the nuclear region of these objects. The enhanced number of compact UV excess regions in the S0 and BCD galaxies suggest the similarity between of some of the galaxies of these two types. In both the spiral and irregular galaxies these are often a diffuse component associated with extended star formation. In all 5 objects with HII/BCD classification diffuse radiation of UV excess is dominated.

IRAS Galaxies. Thirty-seven of the dwarf Markarian galaxies in our sample are included in the IRAS FSC2. Giant HII regions within much larger galaxies (Mrk 71, 404 and 1039) are also included in the FSC2. In these cases, the Far Infrared (FIR) flux comes from both the HII region and the underlying galaxy. Therefore these three objects have been excluded from the discussion of the FIR properties of our sample. The 37% fraction of FSC2 sources in our sample is about 1.5 times less that is found by [18] for the entire sample of Markarian galaxies and about twice less that is found for Markarian galaxies with thermal emission-like spectrum [25]. Low FIR detection rate of dwarf Markarian galaxies can be reflection of the tendency discovered for the low luminosity galaxies in general [e.g.26].

Table 4 presents the percentages of FIR detected galaxies among different morphological types of dwarfs. In the same Table for the same morphological types the distribution of FIR detected galaxies according to their FBS spectral types as well their average FIR spectral indexes and FIR to blue luminosity ratios are presented. Among dwarf Markarian galaxies FIR detection rate

Table 4

FIR PARAMETERS FOR DWARF MARKARIAN GALAXIES

Morphology	Percentage	(s+sd)/(ds+d)	$\alpha(25,60)$	$\alpha(60,100)$	$\log \text{FIR}/B$
S0	48%	6/4	-1.20 ± 0.57	-1.20 ± 0.52	-0.40 ± 0.35
Spiral	26%	2/3	-1.70 ± 0.46	-1.39 ± 0.52	-0.50 ± 0.42
Im/BCD and BCD/Im	50%	2/10	-1.53 ± 0.45	-1.18 ± 1.00	-0.49 ± 0.30
BCD	26%	4/3	-1.37 ± 0.44	-1.25 ± 0.50	-0.26 ± 0.24

approximately is twice less for Spiral and BCD galaxies than for S0 and Im dwarfs. Among FIR source Im dwarfs the content of the objects with diffuse UV radiation (d + ds type) is significantly higher than objects with stellar UV spectra (s + sd type). No significant differences between FIR properties of the dwarfs of different morphological types are found.

For IRAS detected and non-detected dwarf galaxies the distributions of the redshifts and B magnitudes were analyzed. The non-parametric two sample K-S test on these distributions shows that the IRAS sources are closer ($\langle z \rangle = 0.0041$) than non-detected galaxies ($\langle z \rangle = 0.0053$) at the 94% significance level. This implies that this selection effect rather than the intrinsic properties of the galaxies has reduced the fraction of IRAS detected objects in the sample of dwarf Markarian galaxies.

Multivariate Factor Analysis. The Multivariate Factor Analysis (MFA) method may be applied to a more general investigation of the properties of our sample of dwarf Markarian galaxies. MFA is a statistical method of locating correlations among of set of initial variables measured for each of a set of objects. MFA derives a reduced number (i.e. less than the number of initial variables) of linearly independent factors that explain the correlations. A detailed description of the MFA method can be found in [27] and [28] and several applications of this technique to astronomical problems have previously been published (e.g. [29-31]). To express the initial variables in terms of the smaller number of common factors the Varimax orthogonal rotation [32] was applied to the factor.

For the analysis of our sample the three FIR parameters ($\log(L(\text{FIR})/L(B))$, $\alpha(25,60)$ and $\alpha(60,100)$, the linear diameters of the galaxies, and two variables, M and S , representing the morphological type and spectral class respectively were used as initial variables. Because of limited sensitivity of the IRAS survey at $25 \mu\text{m}$, some of the $\alpha(25,60)$ spectral indices are upper limits (see Table 1). The following analysis was performed accounting for the upper limits, but it was verified that similar conclusions are reached when $\alpha(25,60)$ is excluded as an initial variable.

In the Table 5 the factor loadings (i.e. the correlation coefficients between the initial variables and the factors), and the accumulated variance for the three Varimax rotated factors are presented. In total 69% of the common

Table 5

VARIMAX ROTATED FACTOR MATRIX

	RF1	RF2	RF3
Morphology (M)	0.672	-0.181	-0.542
Spectral type (S)	0.678	0.191	-0.120
D (kpc)	-0.001	0.037	0.923
α (25,60)	-0.313	0.740	0.022
α (60,100)	-0.215	-0.818	-0.066
logFIR/B	0.659	-0.279	0.284
Accumulated Variance (%)	25	23	21

variance is accounted for when a value of $r=0.7$ is adopted as the correlation threshold. The first rotated factor, RF1, which accounts for 25% of the common variance, does not combine any parameter. The second factor, RF2, which describes 23% of the total variance, combines $\alpha(25,60)$ and $\alpha(60,100)$ FIR spectral indexes. The third factor, RF3, (21%) is dominated by the linear size of the dwarf Markarian galaxies.

The MFA has shown that the strongest correlation among the 6 initial variables is found with the FIR parameters. Because of the close correlation between FIR properties and current star forming activity in galaxies [33-35], the RF2 factor may be interpreted as a star formation activity factor for dwarf Markarian galaxies.

In the MFA, the individual factors, and hence their corresponding sets of initial variables, are independent. Therefore, for the dwarf Markarian galaxies, star formation activity is not related to a galaxy's morphology, spectral class, or linear size.

5. *Conclusions.* From the STScI digitized Schmidt plates of the sky used in the construction of the HST Guide Star Catalogue, we have studied the morphologies of the 96 dwarf ($M \geq -17^m$) Markarian galaxies. Their morphological types, linear diameters, FIR parameters (for the 37 sources present in the IRAS FSC2), and Markarian spectral classes are used in this study. The main results are summarized below.

1. Morphological classifications for 54 of the 96 dwarf galaxies in the Markarian catalog are made for the first time. The previous morphological classifications of 7 galaxies are confirmed, more accurate classifications are obtained for 19 galaxies, and earlier classifications are corrected for the remaining 16 galaxies.

2. Besides the 12 galaxies previously known to have "double nucleus" structure in this sample, 4 additional "double nucleus" galaxies and 2 more candidates are found. Therefore the frequency of "double nucleus" dwarf Markarian galaxies is twice that of all Markarian galaxies.

3. None of the dwarf Markarian galaxies are Elliptical galaxies.

4. The fraction of the galaxies that contain at least one bright star forming region (Im/BCD, BCD/Im or BCD type galaxies) in our sample

is 2.5 time higher that found in [14] sample of Virgo cluster dwarf galaxies.

5. Compared with spiral and irregular galaxies, the S0 and BCD galaxies more often contain unresolved UV excess emitting regions than diffuse regions. This argues for a considerable similarity between the S0 and BCD galaxies.

6. Multi-factor analysis shows that dwarf Markarian galaxies with different morphological structures, spectral classes, and sizes have similar FIR properties.

Acknowledgments. A.R.P. acknowledges the hospitality of the STScI during a sabbatical visitor appointment and the support of the STScI collaborative visitor program. The assistance of Caroline Simpson during the earliest stages of this project is gratefully acknowledged.

This research has made use of the NASA/IPAC Extragalactic Database (NED) which is operated by the Jet Propulsion Laboratory, Caltech, under contract with the National Aeronautics and Space Administration.

¹V.A.Ambartsumian Byurakan Astrophysical Observatory, Armenia

²Space Telescope Science Institute, Baltimore, USA

МОРФОЛОГИЯ КАРЛИКОВЫХ ГАЛАКТИК МАРКАРЯНА

А.Р.ПЕТРОСЯН¹, ДЖ.МАККЕНТИ², Б.МКЛИН²

Используя оцифрованные Шмидтовские пластинки, которые получены для создания Каталога Звезд Гидирования для Хаббловского телескопа определены морфологии 96 карликовых ($M(B) \geq -17^m$) галактик Маркаряна. Доля двухъядерных объектов среди карликовых Маркаряновских галактик вдвое больше, чем в общем каталоге Маркаряновских галактик. Уже известным 12 галактикам прибавлены 4 определенные и 2 возможные новые двухъядерные галактики. Доля карликовых Маркаряновских галактик с яркими областями звездообразования вдвое больше по сравнению с карликами в скоплении Девы. В выборке эллиптических галактик не обнаружено. Галактики морфологически классифицированные как Голубые Компактные Карлики и S0 галактики намного чаще имеют неразрешенные области избытка УФ эмиссии. Карликовые Маркаряновские галактики с разной морфологической структурой и разными спектральными классами имеют одинаковые свойства в далекой ИК-области.

REFERENCES

1. *B.E.Markarian*, *Astrophysics*, **3**, 34, 1967.
2. *B.E.Markarian*, *V.A.Lipovetskii*, *J.A.Stepanian*, *K.K.Erastova*, *A.I.Shapovalova*, *Soobsch. Spets. Astrof. Obs.*, **62**, 5, 1989.
3. *J.P.Huchra*, *Astrophys. J. Suppls. Ser.*, **35**, 171, 1977.
4. *D.W.Weedman*, *F.R.Feldman*, *V.A.Balzano*, *L.W.Ramsey*, *R.A.Sramek*, *C.-C.Wu*, *Astrophys. J.*, **248**, 105, 1981.
5. *V.A.Balzano*, *Astrophys. J.*, **268**, 602, 1983.
6. *H.B.French*, *H.B.*, *Astrophys. J.*, **240**, 41, 1980.
7. *T.X.Thuan*, *G.E.Martin*, *Astrophys. J.*, **247**, 823, 1981.
8. *J.M.Mazzarella*, *V.A.Balzano*, *Astrophys. J.Suppls. Ser.*, **62**, 751, 1986.
9. *R.B.Tully*, *Nearby Galaxy Catalog*, Cambridge University, Cambridge, 1988.
10. *G.Fasano*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **60**, 285, 1985.
11. *B.M.Lasker*, *C.R.Sturch*, *B.J.McLean*, *J.L.Russell*, *H.Jenker*, *M.M.Shara*, *Astron. J.*, **99**, 2019, 1990.
12. *J.L.Russell*, *B.M.Lasker*, *B.J.McLean*, *C.R.Sturch*, *H.Jenkner*, *Astron. J.*, **99**, 2059, 1990.
13. *H.Jenker*, *B.M.Lasker*, *C.R.Sturch*, *B.J.McLean*, *M.M.Shara*, *J.L.Russell*, *Astron. J.*, **99**, 2081, 1990.
14. *A.Sandage*, *B.Binggeli*, *Astron. J.*, **89**, 919, 1984.
15. *K.Fritze*, *M.Lange*, *G.M.Richter*, *D.Stoll*, *Astron. Nachr.*, **299**, 61, 1978.
16. *P.Fouque*, *G.Paturel*, *Astron. Astrophys.*, **150**, 192, 1985.
17. *M.Moshir et al.*, *Explanatory Supplement to the IRAS Faint Source Survey*, Version 2, JPL D-10015 8/92 (Pasadena:JPL), 1992.
18. *M.D.Bicay*, *G.Kojoian*, *J.Seal*, *D.F.Dickinson*, *M.A.Malkan*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **98**, 369, 1995.
19. *G.J.Lonsdale*, *G.Helou*, *J.C.Good*, *W.Rice*, *Cataloged Galaxies and Quasars Observed in IRAS Survey*, Pasadena,JPL, 1985.
20. *A.R.Petrosian*, *K.A.Saakian*, *E.E.Khachikian*, *Astrophysics*, **14**, 36, 1978.
21. *M.M.Iyeeveer*, *Astrophysics*, **24**, 15, 1986.
22. *T.D.Kinman*, *V.C.Rubin*, *N.Thonnard*, *W.K.Ford, Jr.*, *C.J.Peterson*, *Astron. J.*, **82**, 879, 1977.
23. *H.-H.Loose*, *T.X.Thuan*, *Astrophys. J.*, **309**, 59, 1986.
24. *B.Binggeli*, *A.Sandage*, *G.A.Tammann*, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **26**, 509, 1988.
25. *R.A.Kandalian*, *A.R.Petrosian*, *Astrophysics*, **30**, 196, 1989.
26. *D.Kunth*, *F.Sevre*, in "Star Forming Dwarf Galaxies", eds. *D.Kunth*, *T.X.Thuan*, *J.T.T.Van*, (Editions Frontieres), p.331, 1986.
27. *H.H.Harman*, *Modern Factor Analysis* (2nd edition), University of Chicago Press, Chicago, 1967.
28. *A.A.Afifi*, *S.P.Azen*, *Statistical Analysis. A Computer Oriented Approach*. Academic Press, Chicago, Illinois, 1979.
29. *J.P.Vader*, *Astrophys. J.*, **306**, 390, 1986.
30. *A.R.Petrosian*, *M.Turatto*, *Astron. Astrophys.*, **261**, 433, 1992.

31. *A.R.Petrosian, M.Turatto*, *Astron. Astrophys.*, **297**, 49, 1995.
32. *H.F.Kaiser*, *Psychometrika*, **23**, 187, 1958.
33. *H.A.Thronson, Jr., C.M.Telesco*, *Astrophys. J.*, **311**, 98, 1986.
34. *H.A.Thronson, Jr., J.Bally, P.Hacking*, *Astron. J.*, **97**, 363, 1989.
35. *S.M.Pompea, G.H.Rieke*, *Astrophys. J.*, **342**, 250, 1989.
36. *C.Barbieri, C.Bonoli, P.Rafanelli*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **37**, 541, 1979.
37. *A.N.Burenkov, A.R.Petrosian, K.A.Saakian, E.E.Khachikian*, *Astrophysics*, **29**, 742, 1989.
38. *B.Takase, N.Miyauchi-Isobe*, *Ann. Tokyo Astron. Obs.*, **20**, 335, 1985.
39. *J.M.Mazzarella, T.A.Borosan*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **85**, 27, 1993.
40. *B.Binggeli, A.Sandage, G.A.Tammann*, *Astron. J.*, **90**, 1681, 1985.
41. *R.Kennicutt, B.Balick, T.Heckman*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **92**, 134, 1980.
42. *C.H.Arp, E.Ye.Khachikian*, *Astrofiziks*, **10**, 173, 1974.
43. *A.Bosma, C.Casini, J.Heidmann, T.M. van der Hulst, H. van Woerden*, *Astron. Astrophys.*, **89**, 345, 1980.
44. *K.Davidson, T.D.Kinman, S.D.Friedman*, *Astron. J.*, **97**, 1591, 1989.
45. *A.R.Petrosian, J.Boulesteix, G.Comte, D.Kunth, E.LeCoarer*, *Astron. Astrophys.*, **318**, 390, 1997.
46. *A.R.Petrosian, K.A.Saakian, E.E.Khachikian*, *Astrophysics*, **19**, 337, 1983.
47. *R.Gonzalez-Riestra, M.Rego, J.Zamorano*, *Astron. Astrophys.*, **202**, 27, 1988.
48. *H.-H.Loose, T.X.Thuan*, in "Star Forming Dwarf Galaxies and Related Objects" eds. Kunth, D. Thuan, T.X. and Van, T.T. (Paris, Editions Frontieres), p.73, 1986.
49. *N.K.Andreasian, A.N.Burenkov, E.E.Khachikian*, *Astrophysics*, **27**, 396, 1986.
50. *Yu.P.Korovyakovskii, A.R.Petrosian, K.K.Saakian, E.E.Khachikian*, *Astrophysics*, **17**, 121, 1981.
51. *B.A.Vorontsov-Velyaminov*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **28**, 1, 1977.
52. *D.Kunth, S.Maurogordato, L.Vigroux*, *Astron. Astrophys.*, **204**, 10, 1988.
53. *A.R.Petrosian, K.A.Saakian, E.E.Khachikian*, *Astrophysics*, **20**, 35, 1984.
54. *R.Augarde, P.Figon, C.Vanderriest, J.P.Lemonnier*, *Astron. Astrophys.*, **233**, 348, 1990.
55. *G.D.Bothun, J.P.Halpern, C.J.Lonsdale, C.Impey, M.Schmitz*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **70**, 271, 1989.
56. *A.R.Petrosian, V.O.Chavushian*, *Sov. Astron. Let.*, **18**, 24, 1992.
57. *G.V.Abramian, K.A.Saakian*, *Astrophysics*, **31**, 678, 1989.
58. *D.S.Mathewson, V.L.Ford, M.Buchhorn*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **81**, 413, 1992.
59. *B.E.Markarian, V.A.Lipovetskii, J.A.Stepanian*, *Astrophysics*, **13**, 215, 1977.
60. *J.M.Mazzarella, G.D.Bothun, T.A.Borosan*, *Astron. J.*, **101**, 2034, 1991.
61. *A.R.Petrosian, K.A.Saakian, E.E.Khachikian*, in *Active Galactic Nuclei*, IAU Symp. #134, eds. D.E.Osterbrock and J.S.Miller, p.445; 1989.
62. *J.J.Saltzer, G.M.MacAlpine, T.A.Borosan*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **70**, 447, 1989.
63. *G.Wange, R.G.Clowes, S.K.Loggett, U.J.MacGillivay, A.Savage*, *Mon. Notic.*

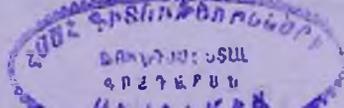
Roy. Astron. Soc., 248, 112, 1991.

64. *B.Takase, N.Miyauchi-Isobe*, Ann. Tokyo Astron. Obs., 21, 251, 1987.
 65. *A.R.Petrosian, K.A.Saakian*, Astrofizika, 35, 531, 1991.

Appendix

- Mrk 5 (KUG0635+756) is an Im galaxy with BCD properties [36, 37].
 Mrk 22 (KUG0946+558) is an interacting pair [38]. It has also been classified as an Im type galaxy with two giant star forming regions in its central region [36,39].
 Mrk 27 (KUG1008+589) has a spherical central structure with irregular short extensions [36].
 Mrk 32 is an Im galaxy with at least three star forming regions.
 Mrk 36 (Haro 4, KUG1102+294).
 Mrk 46 (KUG1213+412).
 Mrk 49 = Mrk 1318 (UGC7354, Haro 8) is a BCD - giant HII region in the north end of the galaxy [14].
 Mrk 51 is a dS0 type galaxy [40].
 Mrk 67 (KUG1339+307) has its nucleus slightly displaced towards the southeast with respect to the center of the outer isophotes [36].
 Mrk 71 (NGC2363) is a giant HII region within the IBmIV-V dwarf galaxy NGC2366. This is a composite system with at least 3 HII complexes [41].
 Mrk 94 is superposed on the SBd type spiral galaxy UGC4499. It can be classified as either a giant HII region in UGC4499 [42] or as an isolated BCD.
 Mrk 108 (NGC2820A, IC2458, VII Zw276) is a close companion of NGC2820. It has been classified as an I0pec type galaxy by [43] and as Im? by [3].
 Mrk 116 (IZw18, KUG0930+554) has two or three additional condensations which are seen in higher resolution images [44,45].
 Mrk 140 (KUG1013+455) has a faint spiral structure [39].
 Mrk 149 (UGC5776, VII Zw339).
 Mrk 169 (IC691, UGC6447).
 Mrk 170 (UGC6448) is type SBc and has 4 giant HII regions [46].
 Mrk 177 (KUG1130+553).
 Mrk 178 (UGC6541) is a BCD with two bright HII regions near its center surrounded by a patchy nebosity [47].
 Mrk 186 (NGC3870, UGC6742) is SBc with three giant HII regions in its equatorial plane [20].
 Mrk 192 contains at least three condensations. Two of these have similar brightness' and are very close to one another.
 Mrk 209 (Haro 29, IZw36) is an iE type BCDG [48].
 Mrk 223 (VII Zw483).
 Mrk 263 (KUG1331+691).
 Mrk 277 (VII Zw528) is an Im galaxy with four HII regions in a common envelope [49].
 Mrk 324 is a close double system which is merged in a compact spherical envelope [36,39,50].
 Mrk 328 the galaxy has been classified as E3 by [3]. The nucleus lies on the major axis but is offset 1 arcsec from the isophotal center [36].
 Mrk 404 (KUG0939+320) is a HII region in NGC2964.
 Mrk 407 (KUG0944+393).
 Mrk 411 (IC2524, KUG0954+338, IZw524).
 Mrk 416 (UGC5833).
 Mrk 426 (KUG1138+354).
 Mrk 429 (KUG1143+351) has a spherical bulge within a faint envelope [38].

- Mrk 450 (UGC8323, VV616, KUG1312+351) is a "nest" of at least three giant HII regions in the classification of [51].
- Mrk 487 (IZw123) has two central condensations in a low luminosity, extended, regular envelope [52].
- Mrk 600 has a double nucleus [20,53] (see also [39]) and is a SBc type galaxy with a giant HII region in its southern arm. This galaxy has also been classified as an Irr [54] and as an iE type BCDG [48].
- Mrk 641 (KUG1149+351).
- Mrk 675 (KUG1417+365).
- Mrk 746 (KUG1138+326, Was27) has a peculiar nucleus [55].
- Mrk 747 (UGC6655, KUG1139+162A, Akn311).
- Mrk 750 (KUG1147+153).
- Mrk 757 (KUG1202+311).
- Mrk 772 (Akn375) was classified as a BCD by [40].
- Mrk 773 (NGC4509, UGC7704, KUG1230+323) is classified as an iE type BCDG in the [48] scheme [56].
- Mrk 786 (NGC5058, UGC8345) contains two diffuse condensations [20].
- Mrk 826 (KUG1448+526).
- Mrk 900 (NGC7077, UGC11755, Akn549) is a double nucleus SBa type galaxy surrounded by a dense envelope [57].
- Mrk 931 (NGC7694).
- Mrk 996 is a double nucleus galaxy.
- Mrk 1025 (KUG0207-090) may have a double nucleus structure.
- Mrk 1039 (KUG0225-103) has been classified as an Sc type galaxy [58] and as an Im galaxy with two giant HII regions [39]. In [59] identify the UV excess object with the condensation located at the east end of the galaxy.
- Mrk 1042 (KUG0225-104).
- Mrk 1153 (UGC931).
- Mrk 1263 is an Im galaxy with two giant HII regions [39,60].
- Mrk 1264 (UGC5923).
- Mrk 1271 (Akn268, Tol1053+064).
- Mrk 1306 may contain three condensations in its central region.
- Mrk 1307 (UGC6850, UM462) has two distinct emission regions in a common envelope [61,62].
- Mrk 1308 (IC745, UGC6877, UM465, Akn332) is a dwarf elliptical with an unresolved nucleus [62].
- Mrk 1313 (UM483).
- Mrk 1315 is either an HII region in the SBdm spiral galaxy NGC4204 or a BCD galaxy.
- Mrk 1323 was classified as Sa? [40]. It has a double nucleus structure.
- Mrk 1333 (NGC4628).
- Mrk 1335 (KUG1244+268) is an E/S0 type galaxy [63].
- Mrk 1338 (KUG1250+255) is a conspicuous spiral galaxy [64].
- Mrk 1342 is a spiral galaxy with double nucleus structure.
- Mrk 1416 (KUG0917+527) is an Im galaxy with a giant HII region towards the South [38].
- Mrk 1418 (UGC5151, KUG0937+485, AKN209) is an Im type galaxy with four HII regions situated within an elongated lenticular envelope [57].
- Mrk 1423 (UGC5179).
- Mrk 1426 (KUG0946+487) is a double nucleus galaxy [65].
- Mrk 1427 (KUG0951+420).
- Mrk 1434 (KUG1030+583).
- Mrk 1479 (NGC5238, UGC8565, VV828, IZw64) is a SABdm type double nucleus galaxy [57].
- Mrk 1499 (IZw159).



УДК: 524.7-327

О КРИВЫХ ВРАЩЕНИЯ ГАЛАКТИК В РАЗНОМ ПРОСТРАНСТВЕННОМ ОКРУЖЕНИИ

Е.А.ЕВСТИГНЕЕВА, В.П.РЕШЕТНИКОВ

Поступила 13 ноября 2000

Принята к печати 15 января 2001

Рассмотрена выборка гигантских Sb-Sc спиральных галактик с высокоточными и протяженными кривыми вращения. Разбив галактики на три группы в зависимости от глобального значения пространственной плотности светимости (массы) в пределах 0.5 Mpc (ρ_L), мы исследовали зависимость характеристик кривых вращения от значения ρ_L . Оказалось, что для таких массивных галактик форма кривой вращения (логарифмический градиент) и соотношение Талли-Фишера не зависят от глобального пространственного окружения. Единственное отличие состоит в том, что у галактик в областях с высокими значениями ρ_L кривые вращения прослеживаются, в среднем, до меньших относительных расстояний от ядра. Это может быть связано с разрушением внешних областей их газовых дисков при гравитационном взаимодействии с окружающими галактиками.

1. Введение. Наблюдаемые кривые вращения зависят от глобального распределения массы в галактиках. Знание кривой вращения, наряду с результатами поверхностной фотометрии, позволяет построить детальную динамическую модель галактики (например, [1,2]). Форма кривой вращения определяется соотношением между тремя основными составляющими - балджем, диском и темным гало. Кривые вращения спиральных галактик ранних морфологических типов с массивным балджем, как правило, быстро достигают максимума и показывают большие значения максимальной скорости вращения V_{max} . Галактики поздних типов чаще имеют более полого возрастающие кривые вращения с меньшими значениями V_{max} . Общая форма кривой вращения зависит также от массы галактики - массивные объекты чаще показывают медленно спадающие кривые вращения, а маломассивные, как правило, демонстрируют рост скорости вращения вплоть до последней измеренной точки (например, [3]).

Неизолированные галактики, то есть галактики с близкими спутниками, взаимодействующие и т.д. нередко показывают пекулярные, несимметричные кривые вращения. Например, у них чаще, чем у относительно изолированных галактик, встречаются кривые вращения с глобальным максимумом и последующим падением [4,5]. В тесных взаимодействующих системах галактики, возможно, имеют более низкие наблюдаемые значения V_{max} , соотношение Талли-Фишера для них также, вероятно, отклоняется от стандартного [6,7].

Современные космологические численные расчеты в рамках CDM-

сценария свидетельствуют, что свойства темных гало, а именно они, вероятно, определяют форму кривых вращения во внешних областях спиралей, могут зависеть от их пространственного окружения (например, [8]). Целью настоящей заметки является исследование кривых вращения спиральных галактик в разном *крупномасштабном* пространственном окружении.

2. *Выборка галактик.* Мы рассмотрели выборку, состоящую из 51 галактики с высокоточными протяженными кривыми вращения, описанную в [9]. Выборка однородна по морфологическим типам - все галактики относятся к Sb-Sc спиральям.

Для каждой галактики по данным NED¹ были отобраны все внегалактические объекты, находящиеся в проекции в пределах 0.5 Мпк ($H_0 = 75$ км/с/Мпк) и имеющие лучевую скорость, отличающуюся не более, чем на 200 км/с от систематической скорости рассматриваемой галактики. (Это оказалось возможным сделать для 30 галактик). Количество спутников, конечно, плохо характеризует реальную пространственную плотность, поскольку они могут очень сильно отличаться по светимости (массе). Поэтому для каждого спутника была найдена его светимость в цветовой полосе *B* (по данным NED) и оценена суммарная объемная плотность светимости ρ_L (в единицах $L_\odot(B)/\text{Мпк}^3$) вокруг каждой их галактик выборки. При фиксированном отношении масса-светимость значение ρ_L характеризует плотность распределения массы. Затем, в зависимости от величины ρ_L , объекты выборки были разбиты на три группы по 10 галактик. В первую группу вошли галактики с малыми значениями плотности светимости, в третью - с большими, а во второй находятся промежуточные объекты. Средние значения ρ_L для галактик в трех подвыборках приведены в табл.1 (ошибки в таблице представляют собой стандартные отклонения среднего).

Как видно по данным табл.1, галактики в третьей группе характеризуются

Таблица 1

СРЕДНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЛАКТИК В ТРЕХ ГРУППАХ

Характеристики	(1) $N=10$	(2) $N=10$	(3) $N=10$
Плотность светимости в радиусе 0.5 Мпк, ρ_L (в ед. $10^3 L_\odot(B)/\text{Мпк}^3$)	0.9 ± 0.4	10.7 ± 1.3	32.4 ± 4.2
Абсол. зв. величина, $M_\odot(B)$	-20.50 ± 0.19	-20.38 ± 0.33	-20.69 ± 0.19
Радиус, R_{25} (кпк)	14.3 ± 1.1	16.5 ± 2.3	19.4 ± 1.5
Максимальная скорость вращения, V_{max} (км/с)	218 ± 18	212 ± 15	256 ± 8
Протяженность кривой вращения (в долях R_{25})	1.82 ± 0.29	1.34 ± 0.18	1.05 ± 0.15
Логарифмический градиент, G	-0.29 ± 0.16	-0.12 ± 0.07	-0.15 ± 0.06

¹ База внегалактических данных NASA/IPAC (NED) работает под управлением Jet Propulsion Laboratory, Калтех, согласно контракту с Национальным управлением авионавтики и космических исследований (США).

почти в 40 раз большей объемной плотностью светимости в пределах 0.5 Мпк по сравнению с объектами первой группы. Среднее число спутников варьируется от 2 (1 подвыборка) до 6 (3 подвыборка). Распределение галактик по морфологическим типам в каждой из групп одинаково, средние абсолютные светимости (получены по данным каталога RC3) очень близки (табл.1). Сравнивая средние характеристики галактик в подвыборках, можно также отметить небольшое увеличение линейного размера (по данным RC3) с ростом ρ_L и повышенное среднее значение максимальной скорости вращения галактик в третьей группе. (Возможной причиной этих отличий может являться наблюдательная селекция - наиболее массивные и большие галактики часто окружены свитой физических спутников, повышающих наблюдательное значение ρ_L).

3. *Протяженность и форма кривых вращения.* На рис.1 приведены кривые вращения для галактик в трех группах. Эти рисунки, а также данные табл.1 наглядно показывают, что средняя относительная протяженность (в долях линейного радиуса R_{25}) кривых вращения уменьшается с ростом ρ_L : отношение средних протяженностей в 1 и 3 группах составляет 1.73 ± 0.52 . Отвлекаясь от возможных эффектов селекции, можно предположить, что меньшая средняя протяженность кривых вращения у объектов третьей подвыборки связана с тем, что периферийные области их HI-дисков (кривые вращения галактик за

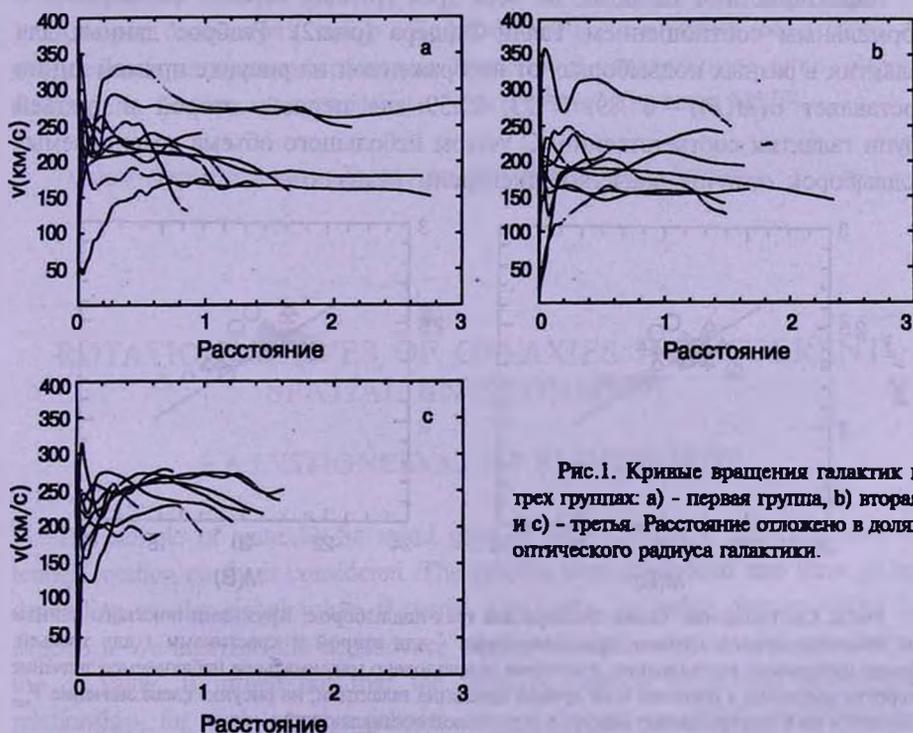


Рис.1. Кривые вращения галактик в трех группах: а) - первая группа, б) вторая и с) - третья. Расстояние отложено в долях оптического радиуса галактики.

пределами оптических дисков найдены по наблюдениям в III) разрушены внешним гравитационным возмущением.

Для анализа формы кривых вращения мы рассмотрели логарифмические градиенты (G) их внешних областей (см. [3]). Градиент G находился как наклон прямой, аппроксимирующей область выраженной в логарифмических координатах кривой вращения от $\frac{2}{3}R_{25}$ до последней измеренной точки. Если $G < 0$, то кривая вращения спадает (скорость вращения уменьшается), при $G > 0$ кривая вращения растет. Средние значения G в трех группах (см. табл.1) меньше нуля и не зависят от ρ_L . Медленно спадающие кривые вращения, подобные рассматриваемым нами, являются вполне типичными для спиральных галактик с $V_{\max} \geq 200$ км/с [3,10].

4. *Соотношение Талли-Фишера.* На рис.2 показано соотношение Талли-Фишера между светимостью галактики и максимальной скоростью вращения. Непрерывной прямой на рисунке изображено стандартное соотношение в полосе B согласно [11]: $M(B) = -7.48 \log V_{\max} - 2.85 (L(B) \propto V_{\max}^3)$. Мы рассмотрели два варианта оценки V_{\max} : 1) по всей кривой вращения и 2) только по ее части после первого локального максимума, связанного скорее всего с балджем галактики. Как видно на рис.2, использование глобального значения V_{\max} приводит к систематическому смещению наблюдаемого соотношения Талли-Фишера от стандартного.

Характеристики галактик во всех трех группах хорошо согласуются с нормальным соотношением Талли-Фишера (рис.2). Разброс данных для галактик в разных подвыборках от изображенной на рисунке прямой линии составляет $\sigma(M(B)) = 0^m.89, 0^m.73, 0^m.59$ для первой, второй и третьей групп галактик соответственно. С учетом небольшого объема сравниваемых подвыборок отличие значений дисперсии незначимо.

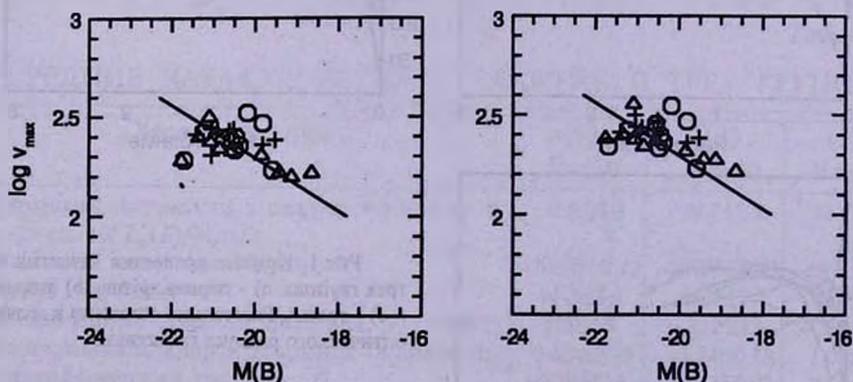


Рис.2. Соотношение Талли-Фишера для трех подвыборок. Кружками показаны данные для объектов первой группы, треугольниками - для второй и крестиками - для третьей. Справа изображено соотношение, в котором использовано максимальное наблюдаемое значение скорости вращения в пределах всей кривой вращения галактики; на рисунке слева значение V_{\max} относится не к центральному циклу, а к дисковой составляющей.

5. *Обсуждение.* Мы рассмотрели выборку из нескольких десятков Sb-Sc спиральных галактик с высокоточными кривыми вращения. В рассматриваемую выборку вошли гигантские галактики, по светимости, размеру и максимальной скорости вращения сравнимые или даже превышающие Млечный Путь (табл.1). Разбив галактики на три группы в зависимости от глобального значения пространственной плотности светимости (массы) в пределах 0.5 Мпк (ρ_L), мы исследовали зависимость характеристик кривых вращения от значения ρ_L .

Оказалось, что для таких массивных галактик форма кривой вращения (логарифмический градиент) и соотношение Талли-Фишера не зависят от глобального пространственного окружения. Единственное найденное отличие состоит в том, что у галактик в областях с высокими значениями ρ_L кривые вращения прослеживаются, в среднем, до меньших относительных расстояний от ядра. Это может быть связано с разрушением внешних областей их газовых дисков при гравитационном взаимодействии с окружающими галактиками.

Ранее было показано, что для взаимодействующих галактик соотношение Талли-Фишера может систематически уклоняться от стандартного соотношения для относительно изолированных галактик [7]. Однако это отличие становится заметным лишь для относительно слабых галактик (с $M(B) \geq -20 \dots -19$), более яркие взаимодействующие галактики удовлетворяют стандартной зависимости. Следовательно, наши результаты не противоречат выводам работы [7].

Авторы благодарят проф. Софу (Y.Sofue, University of Tokyo) за предоставление кривых вращения галактик в электронном виде. Работа выполнена в рамках программы "Интеграция" (проект N578).

Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

ROTATION CURVES OF GALAXIES IN DIFFERENT SPATIAL ENVIRONMENT

E.A.EVSTIGNEEVA, V.P.RESHETNIKOV

The sample of giant Sb-Sc spiral galaxies with accurately measured and extended rotation curves is considered. The galaxies were subdivided into three groups depending on the global value of spatial luminosity (or mass) density within 0.5 Mpc (ρ_L). We analyzed the dependence of characteristics of the rotation curves on the ρ_L value. It turned out that the form of rotation curve and Tully-Fisher relationship for such massive galaxies do not depend on global spatial environ-

ment. The only distinction is the galaxies rotation curves in the regions with high values of ρ_L are followed, on the average, to smaller relative distances from nucleus. This may be connected with the distortion of the outer parts of their gaseous disks in the case of gravitational interaction with surrounding galaxies.

ЛИТЕРАТУРА

1. *А.В.Засов*, Физика галактик, МГУ, 1993.
2. *В.Г.Горбацкий*, Введение в физику галактик и скоплений галактик, Наука, М., 1986.
3. *S.Casertano, J.H. van Gorkom*, *Astron. J.*, 101, 1231, 1991.
4. *А.В.Засов, Г.А.Кязумов*, Письма в Астрон. ж., 6, 264, 1980.
5. *А.В.Засов, Г.А.Кязумов*, *Астрон. ж.*, 60, 656, 1983.
6. *V.P.Reshetnikov*, *A&SS*, 191, 49, 1992.
7. *V.P.Reshetnikov*, *A&SS*, 211, 155, 1994.
8. *S.Bullock, T.S.Kolatt, Y.Sigad et al.*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* (в печати), 2000, (astro-ph/9908159).
9. *Y.Sofue, Y.Tutui, A.Tomita et al.*, *Astrophys. J.*, 523, 136, 1999.
10. *M.Persic, P.Salucci, F.Stel*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 281, 27, 1996.
11. *M.J.Pierce, R.B.Tully*, *Astrophys. J.*, 387, 47, 1992.

УДК: 524.74

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛАКТИК ВТОРОГО БЮРАКАНСКОГО ОБЗОРА НЕБА. III. СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ В ПЛОЩАДКАХ $09^{\text{h}}47^{\text{m}}$, $+51^{\circ}$ И $09^{\text{h}}50^{\text{m}}$, $+55^{\circ}$

 С.К.БАЛАЯН¹, С.А.АКОПЯН¹, В.Л.АФАНАСЬЕВ², С.Н.ДОДОНОВ²

Поступила 1 ноября 2000

Принята к печати 15 января 2001

Приводятся результаты наблюдений 49 объектов Второго Бюраканского спектрального обзора неба, завершающих последующую спектроскопию галактических выборок в площадках с координатами центра $\alpha = 09^{\text{h}}47^{\text{m}}$, $\delta = +51^{\circ}$ и $\alpha = 09^{\text{h}}50^{\text{m}}$, $\delta = +55^{\circ}$. Спектры были получены на 2.6-м телескопе БАО НАН РА и 6-м телескопе САО РАН в течение 1998-2000гг. Для всех галактик определены красные смещения и абсолютные звездные величины.

1. *Введение.* Второй Бюраканский спектральный обзор [1] (SBS - the Second Byurakan Sky Survey) - один из наиболее известных обзоров неба с объективной призмой. Он охватывает примерно пятнадцатую часть обзора Маркаряна (FBS - the First Byurakan Sky Survey) [2] в области $07^{\text{h}}45^{\text{m}} < \alpha < 17^{\text{h}}15^{\text{m}}$, $49^{\circ} < \delta < 61^{\circ}$. Наблюдательный материал, полученный на 1-м Бюраканском телескопе системы Шмидта для 65 площадок (по 16 кв. гр. каждая), с использованием чувствленных фотопластинок, светофильтров и набора объективных призм [3], позволил расширить круг поставленных задач при одновременном увеличении глубины нового, Второго обзора. Множество квазаров, галактик, звезд, отобранных по низкодисперсионным спектрам Второго Бюраканского спектрального обзора, и их выборки являются предметом многосторонних исследований и многочисленных публикаций.

Нами исследуются выборки галактик SBS в семи избранных площадках [4], отличающихся высоким уровнем полноты отобранных здесь объектов. Значения видимых величин занимают весь диапазон, $12^{\text{m}} < m(\text{pg}) < 19.5^{\text{m}}$, и лишь менее пятой части - галактики слабее 18^{m} . Спектральные наблюдения этих сравнительно слабых галактик и некоторых более ярких позволили завершить последующую спектроскопию всех галактик в семи выборках. Ранее опубликованы результаты наблюдений в седьмой [5] и первой [6] площадках с $\alpha = 15^{\text{h}}30^{\text{m}}$, $\delta = +59^{\circ}$ и $\alpha = 08^{\text{h}}00^{\text{m}}$, $\delta = +59^{\circ}$, полученных с щелевыми спектрографами на 6-м телескопе САО РАН и 2.6-м телескопе БАО НАН. В настоящей статье приводятся результаты щелевой и/или 2D спектроскопии слабых галактик еще в двух смежных площадках SBS - второй и третьей из избранных - с координатами центров

$\alpha = 09^h 47^m$, $\delta = +51^\circ$ и $\alpha = 09^h 50^m$, $\delta = +55^\circ$, полученные на тех же телескопах.

2. *Наблюдения и обработка.* Журнал наблюдений всех объектов приводится в табл.1, где в столбцах даны, соответственно: 1) SBS-названия наблюдавшихся объектов в порядке возрастания прямого восхождения; 2,3) экваториальные координаты на эпоху 2000г.; 4) звездная величина по визуальным оценкам, принятым в SBS; 5) дата наблюдений; 6) название использованного спектрографа - LSS или MPFS на 6-м телескопе, ВууFосс на 2.6-м телескопе; 7) суммарное время экспозиций за соответствующую ночь.

Рис.1 и 2 иллюстрируют некоторые из спектров, полученных на 6-м и 2.6-м телескопах, соответственно.

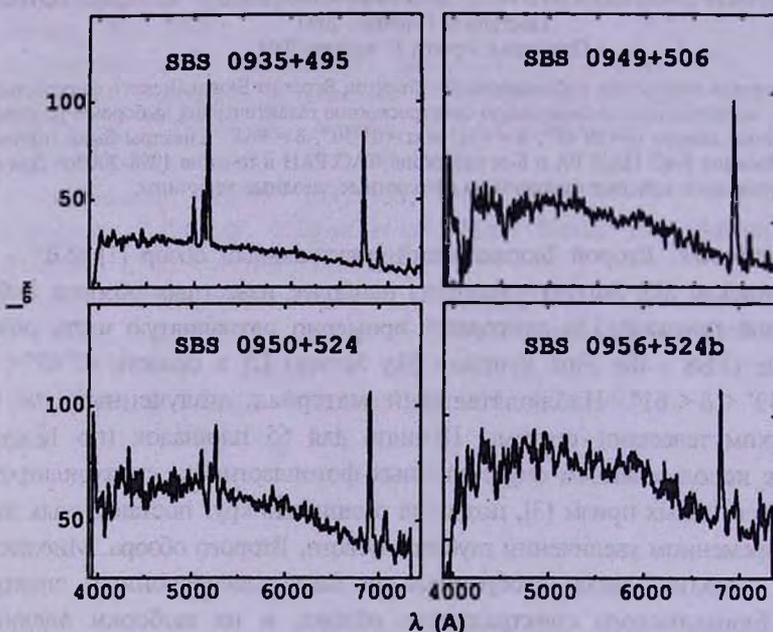


Рис.1. Щелевые спектры SBS-галактик, полученные на 6-м телескопе САО РАН.

На 6-м телескопе САО РАН наблюдения проводились в 1998-99гг.

В январе-феврале 1998г. использовался светосильный спектрограф первичного фокуса 6-м телескопа (LSS - Long Slit Spectrograph) [7], в комбинации с ПЗС 530x580, а с марта 1999г. на LSS была установлена ПЗС 1024 x 1024 (используемая область 1024 x 330). Регистрировался спектральный диапазон $\lambda\lambda$ 4000-7350 Å и $\lambda\lambda$ 3550-8300 Å с разрешением примерно 17Å и 14Å соответственно.

Во время наблюдений в ноябре 1998г. использовался мультизрчковый спектрограф (MPFS - Multi Pupil Fiber Spectrograph) [8], установленный в первичном фокусе, в комбинации с матрицей ПЗС 1034x1034 (Tektronix CCD). Регистрировался диапазон длин волн $\lambda\lambda$ 4300-7000 Å с дисперсией

2.6 Å/элемент.

Наблюдения на 2.6-м телескопе Бюраканской обсерватории проводились с фокальным редуктором VuuFOSC-2 [9] на ПЗС 1060x1028, установленном в первичном фокусе. Регистрировался либо диапазон 4300-6900Å с дисперсией 2.6 Å/элемент, либо 5350-7550 Å с дисперсией 2 Å/элемент, в зависимости от используемой призмы. Позиционный угол щели на 2.6-м телескопе жестко фиксирован вдоль направления N-S, т.е. равен нулю.

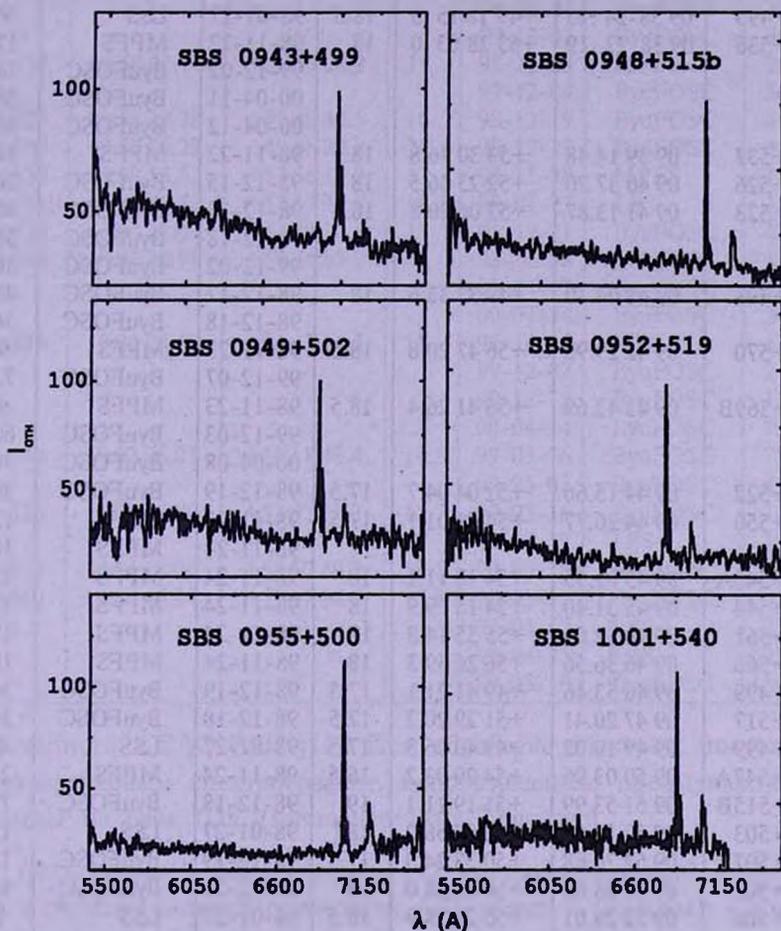


Рис.2. Щелевые спектры SBS-галактик, полученные на 2.6-м телескопе БАО НАН.

Для калибровки спектров по потокам каждую ночь снимались спектрофотометрические стандарты [10].

Калибровка спектров по длинам волн на обоих телескопах проводилась с использованием He-Ne-Ar ламп.

Обработка спектрального материала, полученного со щелевыми спектрографами, проводилась с использованием Астрономического пакета MIDAS и пакета программ для редукции астрономических данных,

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ

SBS-назв. объекта	R.A	Decl. (2000)	<i>m</i>	Дата набл.	Спектрограф	Эксп. (с)
1	2	3	4	5	6	7
0932+506	09 ^h 36 ^m 03 ^s .56	+50°26'11".9	17.5	98-01-27	LSS	900
0933+524	09 36 41 .44	+52 14 11 .4	17	98-12-15	ByuFOSC	3600
0935+495	09 38 24 .15	+49 18 15 .5	18.5	98-01-27	LSS	900
0935+536	09 38 27 .19	+53 28 03 .0	18	98-11-22	MPFS	1200
				99-12-02	ByuFOSC	3600
				00-04-11	ByuFOSC	3600
				00-04-12	ByuFOSC	3600
0935+537	09 39 14.48	+53 30 46.8	18	98-11-22	MPFS	2400
0937+526	09 40 37.20	+52 23 36.5	18	98-12-15	ByuFOSC	3600
0937+523	09 41 13.87	+52 06 20.8	18.5	98-12-17	ByuFOSC	4800
				98-12-18	ByuFOSC	3600
				99-12-02	ByuFOSC	3600
0938+498	09 42 04.10	+49 33 33.6	18	98-12-17	ByuFOSC	4800
				98-12-18	ByuFOSC	3600
0938+570	09 42 29.90	+56 47 20.8	18.5	98-11-23	MPFS	960
				99-12-07	ByuFOSC	7200
0940+569B	09 43 42.69	+56 41 26.4	18.5	98-11-23	MPFS	960
				99-12-03	ByuFOSC	6000
				00-04-08	ByuFOSC	3600
0940+522	09 44 15.66	+52 04 04.7	17.5	98-12-19	ByuFOSC	3600
0940+550	09 44 26.77	+54 51 01.1	17.5	98-11-22	MPFS	1200
				98-11-24	MPFS	1800
0941+545A	09 45 01.55	+54 18 11.1	18	98-11-24	MPFS	1800
0942+544	09 45 31.40	+54 15 39.9	18	98-11-24	MPFS	1800
0942+561	09 46 02.03	+55 55 14.8	17	98-11-24	MPFS	1800
0943+566	09 46 36.56	+56 26 59.3	18	98-11-24	MPFS	1800
0943+499	09 46 53.46	+49 41 21.1	17.5	98-12-19	ByuFOSC	3600
0943+517	09 47 20.41	+51 29 20.7	17.5	98-12-18	ByuFOSC	3600
0946+499	09 49 10.02	+49 40 05.3	17.5	98-01-27	LSS	600
0946+547A	09 50 03.96	+54 29 03.2	16.5	98-11-24	MPFS	2400
0948+515B	09 51 53.99	+51 19 21.1	19	98-12-18	ByuFOSC	7200
0949+503	09 52 14.67	+50 08 58.2	18	98-01-27	LSS	1500
0948+507B	09 52 20.88	+50 33 24.3	17.5	98-12-19	ByuFOSC	1800
0949+502	09 52 28.62	+50 00 08.0	18	98-12-20	ByuFOSC	4800
0949+506	09 52 29.01	+50 24 28.9	18.5	98-01-27	LSS	900
0950+560	09 53 44.19	+55 46 04.7	19	98-11-28	MPFS	3000
				99-12-03	ByuFOSC	3600
				99-12-04	ByuFOSC	3600
				00-05-06	ByuFOSC	7200
0950+503	09 53 50.83	+50 08 27.1	18.5	98-12-19	ByuFOSC	7200
0950+524	09 54 14.18	+52 10 11.9	18	98-01-27	LSS	900
0951+539	09 54 22.14	+53 40 49.4	18	98-11-28	MPFS	1800
0950+571	09 54 23.28	+56 53 06.1	16.5	98-11-28	MPFS	1800
				99-12-10	ByuFOSC	7200
0952+548	09 55 39.36	+54 35 30.7	18	98-11-28	MPFS	1800
0952+495A	09 55 48.09	+49 21 20.2	18	98-02-02	LSS	900

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7
0952+550	09 55 50.44	+54 46 37.5	19	98-11-28	MPFS	1800
0952+519	09 55 50.59	+51 44 49.7	17.5	98-12-19	ByuFOSC	3600
0952+523	09 56 07.49	+52 04 52.6	18	98-01-27	LSS	900
0952+556	09 56 24.02	+55 27 28.7	17	98-11-28	MPFS	2700
				99-12-10	ByuFOSC	4800
0954+515	09 57 47.43	+51 19 39.1	19	98-12-20	ByuFOSC	3600
				98-12-21	ByuFOSC	7200
				99-12-02	ByuFOSC	3600
0954+555	09 58 22.14	+55 19 08.9	18	98-11-28	MPFS	1800
				99-12-04	ByuFOSC	3600
0954+526	09 58 22.28	+52 26 48.5	18	98-12-19	ByuFOSC	4800
0955+500	09 58 39.29	+49 46 20.8	18	98-12-21	ByuFOSC	4800
0955+538	09 59 13.52	+53 36 13.3	17	98-11-28	MPFS	1800
0956+524B	09 59 50.58	+52 13 40.8	18.5	98-01-27	LSS	1800
0957+528	10 00 28.97	+52 35 50.8	18	98-12-21	ByuFOSC	4200
0958+548	10 01 36.98	+54 34 55.9	18	98-11-28	MPFS	1800
				00-04-12	ByuFOSC	1200
				00-04-14	ByuFOSC	3000
0959+549	10 02 28.69	+54 43 14.3	18	98-11-28	MPFS	1800
				99-12-07	ByuFOSC	2400
				99-12-12	ByuFOSC	1800
				00-04-14	ByuFOSC	7200
0959+544	10 03 06.01	+54 11 48.4	18.5	99-03-16	ByuFOSC	7200
				00-05-07	ByuFOSC	4200
1000+536	10 04 15.89	+53 23 31.3	15.7	99-03-16	ByuFOSC	1800
				99-03-27	LSS	1800
1000+560	10 04 18.06	+55 50 49.2	18.5	99-03-16	ByuFOSC	3600
1001+540	10 04 45.94	+53 47 34.7	17.5	99-03-16	ByuFOSC	4800
				99-03-27	LSS	2700
				99-04-25	LSS	2700
				99-05-10	ByuFOSC	3600

разработанного в CAO РАН [11]. При обработке спектров, полученных с мультиспектральным спектрографом, использовались, преимущественно, программы на базе IDL (Interactive Data Language).

3. *Результаты наблюдений.* Результаты наблюдений собраны в табл.2, в столбцах которой приводятся: SBS-название галактики - столбцы 1 и 5; значение красного смещения - столбцы 2 и 6; абсолютная звездная величина, при значении постоянной Хаббла $H=75 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$ - столбцы 3 и 7; в столбцах 4 и 8 приводится оценка типа активности по выявляемым спектральным линиям, при следующих обозначениях: НП - галактики с очагами звездообразования в различных стадиях активности; NGM - галактики, в спектрах которых эмиссия проявляется лишь малоинтенсивной блендой с H_{α} , при наличии абсорбций; Abs - галактики с четко выраженным абсорбционным спектром, без каких-либо эмиссий. Двоеточие, добавленное к обозначению типа или к значению красного смещения, предполагает

необходимость уточнения. К примеру, когда H_{α} не попадает в наблюдавшийся диапазон и нет уверенности в том, что объект чисто абсорбционный, к обозначению типа добавлено двоеточие - Abs.

Объект SBS 1000 + 536 (точнее его ядерная часть, по которой проходила щель спектрографа) - единственный, с признаками проявления ядерной активности. Поскольку область линий $N1 - H_{\beta}$ не попадает в наблюдавшийся спектральный диапазон, он классифицирован, по соотношению интенсивностей $H_{\alpha}/NII \lambda 6584 > 0.7$, как одномерный лайнер LINER (Low Ionization Narrow Emission Regions), т.е., предположительно, галактика с ядерными областями эмиссий низкой ионизации [12].

Как видно из табл.2, спектральные наблюдения выявили среди 49 наблюдавшихся объектов примерно равное число галактик, классифицированных нами как HII, Norm. и Abs. Отбор абсорбционных галактик, безусловно, не являлся задачей Второго Бюраканского обзора. Однако, чтобы не пропустить интересный объект, по низкодисперсионным спектрам отбирались галактики с наличием нечетких признаков «намечающихся

Таблица 2

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ГАЛАКТИК

SBS- название	z	M	Тип	SBS- название	z	M	Тип
0932+506	0.0637	-19.9	Norm	0950+560	0.1099	-19.5	Abs:
0933+524	0.0389	-19.3	Norm	0950+503	0.0537	-18.5	HII
0935+495	0.0271	-17.0	HII	0950+524	0.0522	-18.9	HII
0935+536	0.0655	-19.4	Norm	0950+571	0.0796	-19.8	Abs
0935+537	0.0482	-18.8	Abs	0951+539	0.0426	-20.0	Norm
0937+526	0.0667	-19.5	HII	0952+548	0.0255	-17.4	HII
0937+523	0.1503	-20.7	HII	0952+495A	0.0536	-19.0	Abs
0938+498	0.0450	-18.6	Abs	0952+550	0.0441	-17.6	Abs:
0938+570	0.1385	-20.6	Abs	0952+519	0.0366	-18.7	HII
0940+569B	0.1384	-20.6	Norm	0952+523	0.1156	-20.6	HII
0940+522	0.0452	-19.1	Norm	0952+556	0.0468	-19.7	Norm
0940+550	0.0445	-19.1	Abs	0954+515	0.0477	-17.7	Norm
0941+545A	0.0442:	-18.6	Abs:	0954+555	0.1032	-20.4	HII
0942+544	0.0607	-19.3	Norm	0954+526	0.0470	-18.7	Norm:
0942+561	0.0610	-20.3	HII	0955+500	0.0716	-19.6	HII
0943+566	0.0805	-19.9	Norm	0955+538	0.0385	-19.3	Abs
0943+499	0.0634	-19.8	HII	0956+524B	0.0385	-17.8	Norm
0943+517	0.1059	-21.0	Abs	0957+528	0.0470	-18.7	HII
0946+499	0.0601	-19.7	Abs	0958+548	0.0564	-19.1	HII
0946+547A	0.0316	-19.3	Norm	0959+549	0.0791	-19.8	Norm
0948+515B	0.0753	-18.7	HII	0959+544	0.0465	-18.2	Abs
0949+503	0.0492	-18.8	Abs	1000+536	0.0337	-20.3	LINER:
0948+507B	0.0505	-19.4	Abs	1000+560	0.0256	-16.9	HII:
0949+502	0.0466	-18.7	HII	1001+540	0.0475	-19.2	HII
0949+506	0.0522	-18.4	HII				

эмиссий». Большинство наблюдавшихся нами галактик, оказавшихся абсорбционными, были отобраны именно в таком качестве [13,14].

Галактика SBS 0935 + 495, со значением красного смещения 0.0271 и абсолютной звездной величиной $-17^m.0$, благодаря малым угловым размерам, имеет параметры, характерные для голубых карликовых галактик, BCG (Blue Compact Galaxy), находящихся в стадии активного звездообразования. Среди III галактик и наиболее удаленная из наблюдавшихся - SBS 0937 + 523, со значением красного смещения 0,1503.

4. *Заключение.* Спектральные наблюдения 49-и объектов, проведенные на 6-м телескопе CAO РАН и на 2.6-м телескопе НАН РА, позволили завершить последующую спектроскопию галактических выборок еще двух избранных площадок Второго Бюраканского обзора. Определены красные смещения и проведена классификация всех наблюдаемых объектов, среди которых большую часть составляют галактики с признаками звездообразования в различных стадиях активности. Области низкой ионизации в галактике SBS 1000 + 536 говорят о ядерной активности (AGN), для подтверждения которой нужны наблюдения в другом спектральном диапазоне. Наличие среди наблюдавшихся объектов абсорбционных галактик связано, в основном, с тем, что нами наблюдались наиболее слабые объекты выборок, где вероятность ошибочного отбора наибольшая.

Из наблюдавшихся объектов 30 принадлежат площадке $09^h47^m, +51^\circ$, где галактическая выборка включает 54 объекта, остальные 19 - площадке $09^h50^m, +55^\circ$, где всего 60 галактик SBS. Результаты ранее проведенных спектральных наблюдений в данных площадках также в основном опубликованы [15,16]. Предварительно анализируя накопленный спектральный материал по галактикам, изначально отобранным в двух исследуемых площадках, следует отметить, что эмиссионная природа подтверждена примерно для 80% объектов, из которых не менее 10% являются галактиками с признаками ядерной активности (AGN). Результаты детального анализа данных будут представлены отдельной статьей.

¹Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна, Армения

²Специальная астрофизическая обсерватория, Россия

STUDY OF THE SECOND BYURAKAN SURVEY'S GALAXIES. III. SPECTRAL OBSERVATIONS IN THE FIELDS $09^{\text{h}}47^{\text{m}}$, $+51^{\circ}$ and $09^{\text{h}}50^{\text{m}}$, $+55^{\circ}$

S.K.BALAYAN, S.A.HAKOPIAN, V.L.AFANASIEV, S.N.DODONOV

The results of observations of 49 faint objects, aimed to finish follow-up spectroscopy in two fields of the Second Byurakan Sky Survey centered at $\alpha = 09^{\text{h}}47^{\text{m}}$, $+51^{\circ}$, and $09^{\text{h}}50^{\text{m}}$, $+55^{\circ}$ are reported. Spectra were obtained with 6-m telescope of SAO RAS and 2.6-m telescope of Byurakan in 1998-2000. The redshifts and absolute magnitudes for all observed galaxies are determined.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Б.Е.Маркарян, В.А.Липовецкий, Д.А.Степанян*, *Астрофизика*, **18**, 29, 1983.
2. *В.Е.Markarian, V.A.Lipovetsky, J.A.Stepanian, L.K.Erastova, A.I.Shapovalova*, *Special Astrophiz. Observ. Contribution*, **62**, 1, 1989.
3. *J.A.Stepanian*, "Astronomy from Wide-Field Imaging", eds. H.T.MacGillivray et al. Dordrecht, Netherlands, 1994, p.731.
4. *S.A.Hakopian, S.K.Balayan*, "Active Galactic Nuclei and Related Phenomena", *Proceedings of IAU Symp. 194*, eds. Y.Terzian, D.Weedman, E.Khachikian, *Astron. Soc. Pacific, Chelsea, Michigan*, 162, 1999.
5. *С.А.Акопян, С.К.Балаян*, *Астрофизика*, **40**, 169, 1997.
6. *С.А.Акопян, С.К.Балаян*, *Астрофизика*, **43**, 13, 2000.
7. <http://www.sao.ru/~gafan/devices/LSS>.
8. <http://www.sao.ru/~gafan/devices/MPFS>.
9. *Т.Мовсисян*, (частное сообщение), 1998.
10. *В.Оке*, *Astron. J.*, **99**, 1621, 1990.
11. *V.V.Vlasyuk*, *Bull. Spec. Astrophys. Observ.*, **36**, 107, 1993.
12. *A.V.Fillipenko, W.L.W.Sargent*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **57**, 503, 1985.
13. *Б.Е.Маркарян, Д.А.Степанян*, *Астрофизика*, **20**, 21, 1984.
14. *Д.А.Степанян, В.А.Липовецкий, Л.К.Ерастова*, *Астрофизика*, **29**, 247, 1988.
15. *В.А.Липовецкий, Д.А.Степанян, Л.К.Ерастова, А.И.Шаповалова*, *Астрофизика*, **29**, 548, 1988.
16. *J.A.Stepanian, V.A.Lipovetsky, L.K.Erastova, A.I.Shapovalova, M.B.Gyulzadyan*, *Astrophiz. Issled. (Izv. SAO)*, **35**, 15, 1993.

УДК: 524.7-724

НОВЫЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О ЯДРАХ ГАЛАКТИК KAZ 26 И KAZ 73

М.А.КАЗАРЯН, Ж.Р.МАРТИРОСЯН

Поступила 27 сентября 2000

Принята к печати 15 января 2001

Приводятся результаты спектрального исследования ядер галактик Kaz 26 и Kaz 73. Вычислены относительные интенсивности эмиссионных линий, эквивалентные ширины, полуширины и скорости расширения линий на уровне непрерывного спектра. Определены электронные плотности и массы газовых составляющих ядер этих галактик. Определено также число звезд, обеспечивающих свечение газовых составляющих, ядер галактик. Вычислена степень ионизации газа, содержащегося в каждом из ядер этих галактик. Сделан вывод, что ядро Kaz 26 по своим физическим особенностям подходит на "Starburst" галактики. Показано, что Kaz 73 является лайнером (Sy3).

1. *Введение*, В течение 26 лет многими авторами в разных обсерваториях мира многосторонне изучались галактики с УФ-избытком, обнаруженные М.А.Казаряном [1]. Любое исследование таких галактик приводит к новым результатам, которые способствуют лучшему пониманию их физической природы. К их числу относятся галактики Kaz 26 и Kaz 73, каждая из которых обладает звездообразным ядром, хорошо видимым на фотографиях, приведенных в [2,3]. Кроме того, ядро первой из них является самым голубым объектом среди ядер галактик, красные смещения которых близки к ее красному смещению (см. ниже).

Что касается галактики Kaz 73, то она в [3] была отнесена к числу галактик типа Sy2. Ниже мы покажем, что она является лайнером, как принято, обозначаемым через Sy3. Так что Kaz 73 пополняет ряды лайнеров, которых среди галактик типа Сейферта сравнительно мало, всего 13.9% [4].

Обе галактики изучались неоднократно. Результаты исследования Kaz 26 приведены в основном в [1,2,5,6], а Kaz 73 - в [1,3,7].

В настоящей работе для Kaz 26 впервые приводятся результаты спектральных наблюдений, проведенных в 1981г. на 6-м телескопе САО РАН, а также другие новые данные. Для Kaz 73 приводятся данные спектральных наблюдений, проведенных на 6-м телескопе в 1978г.

2. *Наблюдательный материал*. Как было отмечено выше, все спектры, которые использовались в работе, были получены на 6-м телескопе САО РАН одним из авторов (М.А.К.). Данные о них приведены в табл.1. Часть спектров, содержащихся в ней использовалась в [7] для определения эквивалентных ширин линий и относительных интенсивностей

СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

№ Галактики	Дата наблюдения	Спектрограф	Светоприемная аппаратура	Экспозиция (мин)	Спектральная область (Å)	Количество спектров
Kaz 26	30.X.1981г.	UAGS	Сканер	9	5650-7100	2
	31.X.1981г.	"	"	6	4320-5750	2
	"	"	"	6	3350-4780	2
Kaz 73	1.VII.1978г.	СП-160	ЭОП-М9ЩВ	10	7170-5750	1
	"	"	"	10	6200-4800	1
	4.VII.1978г.	"	"	10	5150-3700	1
	"	"	"	5	"	1
	"	"	"	5	7170-5750	1

эмиссионных линий. Результаты подробного исследования этих спектров впервые представлены в настоящей статье.

Щели спектрографов UAGS и СП-160 проходили через яркие центральные части галактик. Дисперсия спектрографов UAGS и СП-160-100 Å/мм и 65 Å/мм соответственно.

3. *Эквивалентные ширины, полуширины линий и относительные интенсивности эмиссионных линий.* В спектре ядра галактики Kaz 26 наблюдаются линии [SII] $\lambda\lambda$ 6731, 6717; [NII] $\lambda\lambda$ 6584, 6548, H_{α} , [OIII] $\lambda\lambda$ 5007, 4959, H_{β} , H_{γ} и [OII] λ 3727. Средние значения относительных интенсивностей эмиссионных линий, эквивалентных ширин и полуширин линий приведены в табл.2. Для области H_{γ} получены четыре спектра, которые позволяют определить среднюю квадратическую ошибку данных для линии H_{γ} . Среднеквадратические ошибки средних величин для

Таблица 2

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ, ПОЛУШИРИНЫ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИНИЙ KAZ 26

Ион	λ_0	$W_{\lambda}(\text{Å})$		$I_{\lambda}/I_{H\beta}$		FWHM (км/с) Наст. работа
		Работа [2]	Наст. работа	Работа [2]	Наст. работа	
[SII]	6731	8.3	+	0.45	1.12	210
[SII]	6717	9.5	+	0.61	1	310
[NII]	6584	39	+	2.5	5.04	220
H_{α}	6563	70	+	5.3	11.76	240
[NII]	6548	12	+	0.86	1.44	250
[OIII]	5007	6.5	10.8	0.39	0.56	290
[OIII]	4959	2.2	4.1	0.14	0.18	340
H_{β}	4861	14.1	21.4	1	1	320
H_{γ}	4340	4.2	6.5	0.39	0.47	360
[OII]	3727	9.1	22.5	2.1	0.77	530

относительной интенсивности, эквивалентной ширины и полуширины линии H_γ равны ± 0.04 , $\pm 0.6\text{\AA}$, $\pm 18\text{ км/с}$ соответственно. Судя по этим данным, можно считать, что ошибки наблюдений других линий будут находиться в этих же пределах. Длинноволновая часть непрерывного спектра ядра галактики Kaz 26 была очень слабой, поэтому для линий [SII] $\lambda\lambda$ 6731, 6717, [NII] $\lambda\lambda$ 6584, 6548 не были определены эквивалентные ширины. В табл.2 их места отмечены крестиками, в знак того, что они присутствуют в спектре. Для каждой из этих линий определена лишь полуширина. На рис.1 приведены профили остальных линий ядра Kaz 26.

В спектре ядра галактики Kaz 73 наблюдаются эмиссионные линии [SII] $\lambda\lambda$ 6731, 6717, [NII] $\lambda\lambda$ 6584, 6548, H_α , [OI] $\lambda\lambda$ 6364, 6300, [OIII] $\lambda\lambda$ 5007, 4959, [OII] λ 3727. Линии H_p , H_γ , H_δ , H_ϵ , H_z и H_{10} наблюдаются как в эмиссии, так и в поглощении, линии H и K CaII, а также D_1 и D_2 NaI получились в поглощении. Компонент поглощения линии H_p , по сравнению с эмиссионным компонентом, очень слабый, так что при определении относительных интенсивностей линий им можно пренебречь. На рис.2 приведены профили линий ядра галактики Kaz 73. Контур каждой из линий H_p - H_{10} в спектре ядра галактики Kaz 73 состоит из сравнительно узкого эмиссионного и широкого абсорбционного компонентов, поэтому целесообразно вычислить для их абсорбционных компонентов скорости расширения на уровне непрерывного спектра (HWI_0). Такая величина была определена также для эмиссионной линии [OIII] λ 5007, так как ее контур состоит из верхней узкой и нижней широкой частей, для ее нижней части получилась довольно большая скорость расширения, $HWI_0 = 900\text{ км/с}$.

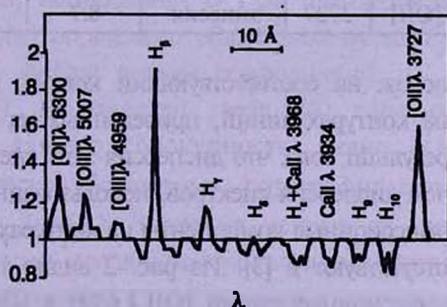
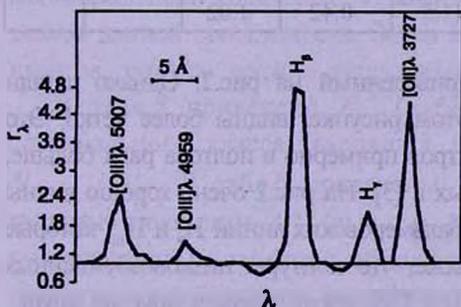


Рис.1. Профили линий ядра галактики Kaz 26. Рис.2. Профили линий ядра галактики Kaz 73.

В табл.3, кроме HWI_0 , приведены также эквивалентные ширины, относительные интенсивности и полуширины линий.

Коротковолновые линии, а также линия [OI] λ 6300, хорошо выявляются в спектре ядра Kaz 73, полученном с экспозицией 10 мин, а длинноволновые линии [NII] $\lambda\lambda$ 6584, 6548 и H_α - в спектре с экспозицией 5 мин. Результаты, приведенные в табл.3, соответствуют обработкам этих спектров. Контур для 8 линий, наблюдавшихся в спектре ядра галактики Kaz 73, приведены в [3] и были построены по наблюдениям со сканером. Каждый из них очень

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ, ПОЛУШИРИНЫ И
ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИНИЙ KAZ 73

Ион	λ_0	Эмиссия или абсорбция	$W_\lambda(\text{Å})$		$I_\lambda/I_{H\beta}$		FWHM (км/с)	HWI ₀ (км/с)
			Работа [3]	Наст. работа	Работа [3]	Наст. работа		
[SII]	6731	эмиссия	9.7	12.4	1.0	0.99	420	
[SII]	6717	"	9.3	12.5	0.95	0.9	350	
[NII]	6584	"	49.2	26.2	5.09	2.54	325	
H _α	6563	"	76.4	56.4	7.38	4.82	460	
[NII]	6548	"	17.4		1.71			
[OI]	6300	"	-	3.3	-	0.16	470	
[OII]	5007	"	5.6	2.4	0.3	0.39	400	900
[OIII]	4959	"	1.8	0.9	0.1	0.12		
H _γ	4861	"	9.0	5.2	1	1	400	
H _γ	4861	абсорбция	3.1	0.6	-	-		1200
H _γ	4340	эмиссия	2.6	1.2	0.35	0.24		
H _γ	4340	абсорбция	2.5	0.7	-	-		1150
H _β	4102	эмиссия	0.8	0.7	0.13	0.23		
H _β	4102	абсорбция	2.5	1.3	-	-		
H _β	3970	эмиссия	-	0.2	-	+		
H _β	3970	абсорбция	2.0	2.2	-	-		1100
CaII	3968	"					-	-
CaII	3934	"	2.0	1.5	-	-		650
H _δ	3835	эмиссия	-	+	-	+		
H _δ	3835	абсорбция	-	1.4	-	-		750
H ₁₀	3798	эмиссия	-	+	-	+		
H ₁₀	3798	абсорбция	-	2.0	-	-		750
[OII]	3727	эмиссия	8.7	11.5	0.42	1.02		

похож на соответствующий контур, приведенный на рис.2. Однако детали на контурах линий, приведенных на этом рисунке, видны более четко. Это результат того, что дисперсия этих спектров примерно в полтора раза больше, чем дисперсия спектров, использованных в [3]. На рис.2 очень хорошо видны эмиссионные компоненты на контурах бальмеровских линий H_γ и H₁₀, которые отсутствуют в [3]. Из рис. 2 видно также, что контуры низковозбужденных эмиссионных линий [OI] λ 6300 и [OII] λ 3727 очень похожи друг на друга.

4. *Электронная плотность и масса газовой составляющей галактик.* Электронная плотность газовой составляющей галактик была определена из отношения интенсивностей запрещенных линий [SII] λλ 6731, 6717, $R = I_{[SII]\lambda 6717} / I_{[SII]\lambda 6731}$. Те же параметры были вычислены и для I сгущения Kаз 26 с использованием данных, приведенных в работе [5].

Используя теоретическую зависимость между R и n_e для $T_e = 10000^\circ \text{K}$ [8], мы определили электронную концентрацию газовой составляющей этих галактик. Значения масс газовой составляющей галактик определены методом, приведенным в [9]. Определен также эффективный радиус объема,

в котором сосредоточена газовая составляющая. Вычислено также количество L_c -квантов (N_{Lc}), из наблюдений. Все эти данные приведены в табл.4.

Таблица 4

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ИССЛЕДОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ

№ по [1]	R	n_e (см ⁻³)	F набл. (эрг/см ² .с)	$L_{H\beta}$ (эрг/с)	$V_{\text{зв}}$ (см ³)	M (M_{\odot})	$r_{\text{зв}}$ (пк)	N_{Lc}
26	0.89	1100	1.6×10^{-13}	5.8×10^{40}	4.3×10^{50}	3.9×10^5	15.1	1.6×10^{33}
26(1)	0.97	800	4.4×10^{-15}	1.6×10^{39}	2.1×10^{51}	1.5×10^4	5.5	4.4×10^{31}
73	0.94	900	4×10^{-14}	1.6×10^{39}	1.7×10^{50}	1.3×10^4	5.2	4.4×10^{32}

5. *Определение числа звезд, обеспечивающих свечение газовой составляющей ядер галактик.* Для решения этой задачи по методу Занстра определялась средняя температура совокупностей звезд, при помощи линии H_{β} . Используя полученные температуры, мы определили количество звезд, которое обеспечивает свечение газовой составляющей ядер галактик Kaz 26 и Kaz 73, а также 1-го сгущения Kaz 26. Считая, что звезды принадлежат к главной последовательности диаграммы Герцшпрунга-Рессела, оценивался средний спектральный класс и абсолютная звездная величина. Данные приведены в табл.5. В [11] дана таблица, которая устанавливает зависимость между температурой и количеством L_c -квантов, испускаемых при данной температуре с 1 см² поверхности звезды. Используя данные этой таблицы, для каждого значения температуры, приведенной в табл.5, мы определили количество L_c -квантов, испускаемых с 1 см² поверхности звезды данной совокупности. Затем было определено общее количество L_c -квантов, которое должно испускаться звездой данной совокупности.

В табл.5 приведено N_{Lc} (набл.). Количество звезд (N) данного спектрального класса, входящих в данную совокупность, равно $N = N_{Lc(\text{набл.})} / N_{Lc}$. В табл.5 приведены также абсолютные фотографические звездные величины $M_{\text{ф}}$ (выч.) и $M_{\text{ф}}$ (набл.). Значения первых из них вычисляются и являются абсолютными звездными величинами звезд совокупностей. Значения вторых определяются из наблюдений и являются

Таблица 5

ДААННЫЕ ОБРАЗОВАНИЙ И ЗВЕЗД, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ
СВЕЧЕНИЕ ГАЗОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ОБРАЗОВАНИЙ

№ по [1]	$T^*(H_{\beta})$	Спектр. класс	$M_{\text{ф}}$	$R^*(R_{\odot})$	N_{Lc} $\times 10^{-46}$	N_{Lc} (набл.) $\times 10^{-52}$	N $\times 10^5$	$M_{\text{ф}}$ (выч.)	$M_{\text{ф}}$ (набл.)
26	2×10^4	B0	-3 ^m .7	9.2	22.7	16	7	-18 ^m .31	-19 ^m .7
26(1)	1.9×10^4	B2	-2 ^m .8	6.5	9.8	0.4	0.5	-14 ^m .55	-16 ^m .7
73	1.7×10^4	B3	-2 ^m .0	4.8	3.4	4.4	1.3	-14 ^m .79	-17 ^m .5

абсолютными звездными величинами образований.

6. *Определение степени ионизации газа в галактиках.* Для галактики Kaz 26 имеются радионаблюдения в линии 21 см нейтрального водорода [12]. Используя эти данные, можно вычислить среднее количество атомов нейтрального водорода в 1 см^3 . Для этой цели из [12] взяты $M_H = 2.2 \times 10^9 M_\odot$, $\sigma_H = 2.16 \times 10^{-3} \text{ г/см}^2$, $D = 16.2 \text{ кпк}$, где M_H - масса нейтрального водорода, σ_H - масса нейтрального водорода в столбце с основанием 1 см^2 и высотой, равной диаметру (D) галактики.

При получении N_1 были использованы следующие простые соотношения: $N_1 = \sigma_H / m_H D$ и $N_1 = M_H / V m_H$, где V - объем галактики, а m_H - масса атома водорода. При вышеприведенных данных: $N_1 = 0.03$ и $N_1 = 0.04$ соответственно. Используя среднее значение этих двух величин: $N_1 = 0.035$, для средней степени ионизации газовой составляющей ядра галактики Kaz 26 получаем: $(N_p / N_1) = 3.1 \times 10^4$. При этом мы предполагали, что полученное среднее значение нейтрального водорода для всей галактики относится и к газовой составляющей ядра.

Для сравнения этой величины с таковой, полученной теоретическим путем, лучше всего использовать формулу, приведенную в [13] для средней степени ионизации. Она имеет вид

$$(N_p / N_1) = 20 U(Sp) N_e^{1/3},$$

где $U(Sp) = s_e N_e^{2/3} = 1.23 \times 10^{-7} (R_e / R_\odot)^{2/3} N_L^{1/3} \text{ нс/см}^2$, s_e - радиус зоны НII вокруг освещающей звезды с радиусом (R_e / R_\odot) , N_e - электронная концентрация газовой составляющей данного объекта, N_L - количество L_e - квантов, излученных 1 см^2 поверхности звезды за 1с.

Такую степень ионизации создает вокруг себя каждая звезда вышеотмеченных совокупностей, что принимается как средняя степень ионизации газовой составляющей данного объекта.

Результаты вычислений (N_p / N_1) приведены в табл.6. В частности, для Kaz 26 эта величина на один порядок меньше по сравнению с данными, полученными из наблюдений.

Такое различие является результатом того, что при определении из наблюдений степени ионизации газовой составляющей ядра галактики

Таблица 6

СТЕПЕНЬ ИОНИЗАЦИИ ГАЗОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

№ по [1]	$U(Sp)$	(N_p / N_1) (теор.)	(N_p / N_1) (набл.)
26	19.04	3.9×10^3	3.1×10^4
26(1)	14.36	2.7×10^3	-
73	10.1	2×10^3	-

Kaz 26 в качестве плотности нейтрального водорода использовалось значение N_1 . По всей вероятности, плотность нейтрального водорода в этой области на порядок выше.

7. *Обсуждение результатов.* Для ядер изученных галактик в [1] приведены СМ-характеристики, которые у обеих галактик одинаковы, s1. Это означает, что они обладают сильным УФ-избытком. *UBV*-фотометрия галактики Kaz 26 показала, что как ее ядро, так и ее центральная область, т.е. ядро со своим окружением, очень голубые. Для них в [2,14] приведены величины $U-B$, которые равны $-1^m.12$ и $-0^m.86$, соответственно. Как было отмечено выше, ядро Kaz 26 и ее центральная область являются самыми голубыми объектами среди галактик с УФ-избытком, имеющими красные смещения, близкие к красному смещению самой галактики, $z = 0.0137$. На рис.3 приведена зависимость между $U-B$ и z для галактик Маркарьяна, красные смещения которых не превосходят 0.03. Данные были взяты из каталога [15]. На этом рисунке нанесены также данные ядра и центральной области Kaz 26, обозначенные кружочком и крестиком соответственно.

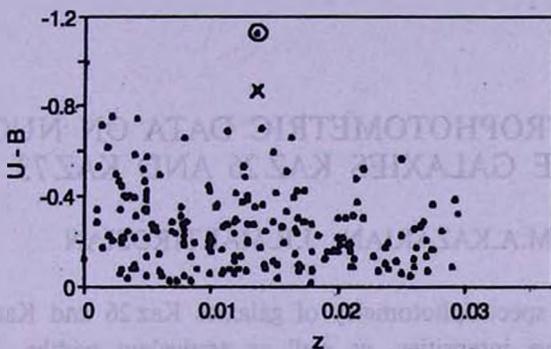


Рис.3. Зависимость между величинами $U-B$ и z для галактики Маркарьяна, кружочком и крестиком обозначены соответственно ядро и центральная область галактики Kaz 26.

Из рис.3 видно, что среди этих галактик ядро и центральная область Kaz 26 выделяются своими низкими значениями величины $U-B$.

Полуширины линий и ширины линий на уровне непрерывного спектра ядер Kaz 26 и Kaz 73 приведены впервые в табл.2 и 3. При этом не учтено влияние инструментальных профилей линий. Эти величины определены при помощи линий неба, полученных на соответствующих спектрах Kaz 26 и Kaz 73, которые оказались 150 км/с и 100 км/с. После учета поправки за инструментальный профиль линий, для линий Kaz 26 они будут такими же малыми, как и для "starburst" галактик. В случае Kaz 73 после учета такой поправки полуширины линий останутся довольно широкими, что характерно для галактик типа Сейферта. Как было отмечено выше, Kaz 73 была отнесена к числу галактик типа Sy2. В действительности она является лайнером, так как отношения интенсивностей линий $I_{\text{опр.6300}}/I_{\text{опр.5007}} \geq 1/3$ и $I_{\text{опр.3727}}/I_{\text{опр.5007}}$

≥ 1 удовлетворяют критериям для лайнеров, приведенных в [16].

Таким образом, по своим физическим особенностям ядро галактики Kaz26 является "Starburst" галактикой, а ядро Kaz73 - лайнером. Сравнение данных эквивалентных ширин линий и относительных интенсивностей эмиссионных линий, приведенных в табл.3 для разных времен наблюдений, показывает, что они не совпадают. Из табл.2 видно, что значения эквивалентных ширин и относительных интенсивностей линий, полученные в настоящей работе, более высокие. Например, для линии H_{γ} они отличаются примерно на 50%, а их ошибки, приведенные в [2] и в настоящей работе, меняются от 8% до 15%.

Данные ядра Kaz73, приведенные в табл.3, также довольно сильно отличаются друг от друга. По-видимому, такие различия являются результатом переменности интенсивностей линий и непрерывных спектров ядер этих галактик.

Ереванский государственный университет, Армения

NEW SPECTROPHOTOMETRIC DATA ON NUCLEI OF THE GALAXIES KAZ26 AND KAZ73

M.A.KAZARIAN, J.R.MARTIROSIAN

The results of spectrophotometry of galaxies Kaz26 and Kaz73 are presented. The relative intensities, as well as equivalent widths, FWHM and HWI_{λ} of emission lines are calculated. The electron density and mass of the gaseous components of the nuclei of these galaxies are obtained. The quantity of stars, which ensure their luminous gaseous component of the nuclei of galaxies as well as degree of ionization were obtained. It is concluded that the galaxy Kaz26 by physical properties is similar to the "Starburst" galaxies. It is shown that the galaxy Kaz73 is a LINER (Sy3).

ЛИТЕРАТУРА

1. М.А.Казарян, *Астрофизика*, 15, 5, 1979.
2. М.А.Казарян, В.С.Тамазян, *Астрофизика*, 18, 192, 1982.
3. М.А.Казарян, Э.С.Казарян, *Астрофизика*, 22, 431, 1985.

4. В.А.Липовецкий, С.И.Неизвестный, О.М.Неизвестная, Каталог сейфертовских галактик, Сообщ. САО, 55, 5, 1987.
5. М.А.Казарян, В.С.Тамазян, Астрофизика, 36, 363, 1993.
6. J.Shuder, D.Osterbrock, Astrophys. J., 250, 55, 1981.
7. М.А.Казарян, Э.Е.Хачикян, Вопросы теории сверхплотных небесных тел, Изд. Ереванского университета, Ереван, 1984, с.195-214.
8. И.В.Носов, Астрон. циркуляр, 1050, 1979.
9. Э.А.Дибай, В.И.Проник, Астрофизика, 1, 78, 1965.
10. Д.Я.Мартынов, Курс практической астрофизики, Наука, М, 1977.
11. D.C.Morton, Astrophys. J., 158, 629, 1969.
12. V.S.Tamazian, Astron, Astrophys. Suppl. Ser., 139, 537, 1999.
13. С.А.Каплан, С.Б.Пикельнер, Межзвездная среда, ГИЗ физ.-мат. литературы, М., 1963.
14. V.S.Tamazian, G.Theureau, N.Coudreau-Durand, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 126, 471, 1997.
15. J.M.Mazzarella, V.A.Balzano, A Catalog of Markarian Galaxies, Astrophys. J. Suppl. Ser., 62, 751, 1986.
16. Т.М.Некман, Astron. Astrophys., 87, 152, 1980.

УДК: 524.77

SOME NEW RESULTS CONCERNING THE STUDY OF
THE VIRGO CLUSTER STRUCTURE

N.G.KOGOSHVILI, T.M.BORCHKHADZE

Received 17 October 2000

Accepted 15 January 2001

The creation of a new version of MERCG catalogue enriched by the new information, which was reduced to the uniform system in RC3 and transferred together with data from other lists into our catalogue, made it possible to study the structure of the Virgo cluster based on the statistical criterium offered by Anosova. The study of spatial distribution of galaxies in A and B clusters, forming the main concentration of galaxies in the Virgo cluster, made it possible to consider galaxy number density, and velocity and magnitude means for early and late type galaxies in the direction from the center to the periphery. The mean value of galaxy velocities of B cluster appeared to be larger than that for A cluster thus placing it farther. The investigation of distribution of galaxy colors in the areas of A and B clusters revealed statistically significant distinction, expressed in noticeable reddening of galaxies observed in B cluster region, that can be explained possibly with location of HI deficient galaxies in this area of the Virgo cluster.

1. *Introduction.* The considerable growth of observational data on galaxies during the last decades and particularly the publication of RC3 [1], containing a reasonably complete sample of galaxies with apparent diameters larger than 1 arcmin at the D_{25} isophotal level and with the total B - band magnitudes B_T brighter than 15.5 mag. as well as more fainter objects of interest, made it possible to enrich the Merged Catalogue of Galaxies, MERCG [2] with newly determined colors, redshifts and some other data in RC3 with a special effort of inclusion of those values of main galaxy parameters, which were reduced to the uniform scales, for their further use in statistical investigations based on computer. In addition, many other new data were included in MERCG from published lists and galaxy catalogues, noted in References.

The existence of enlarged statistically uniform data in MERCG allowed us to return anew to the problem of studying galaxy distributions in the Virgo cluster.

2. *Description of new galaxy parameters included in the MERCG. Positions.* As equinox 2000.0 has been adopted as the official IAU standard, equatorial coordinates for the equinox 2000.0 were transferred from PGC [3], containing precise coordinates, remeasured for several thousand galaxies. At the same time equatorial coordinates for the equinox 1950.0, derived from the Morphological Catalogue of Galaxies [4] into the MERCG and still commonly used, are also kept.

Designations for galaxies. MERCG contained five designations for

galaxies: NGC or IC, MCG, UGC and Mark [5] to have an accurate computer access to the data in the catalogue. Designations of galaxies in the Catalogue of Principal Galaxies (PGC), the most extensive database for 73197 objects, were also added to the list of cross - identifications.

Mean numerical Hubble stage index, $\langle T \rangle$. Though morphological descriptions of galaxies are given in MERCG according to several classifications, the revised Hubble morphological type code, T , reduced to a uniform system and with the mean error of about 0.5 was taken from RC3 to be used for statistical studies.

Isophotal diameters and axis ratios. Excellent statistical consistency of isophotal major diameter D_{25} values, derived from visual measurements on photographs and from surface and aperture photometry, favoured the inclusion of the decimal logarithm of diameter D_{25} and decimal logarithm axes ratio R_{25} in MERCG from RC3.

Positional angle. The positional angles of the major axis measured in degrees from north eastward for the 1950.0 equinox were included in MERCG earlier from the UGC catalogue and now were supplemented by new data from RC3.

Corrected photoelectric total magnitude B_T^0 . The total "face-on" magnitudes B_T^0 corrected for galactic and internal absorption and for redshift were transferred into MERCG from RC3. Total B_T magnitudes in RC3 were derived on the base of extrapolated values from aperture photometry, checked by magnitudes obtained from detailed surface photometry. For the majority of galaxies total B_T magnitudes in RC3 were derived from the reductions of photographic magnitudes to the B_T system.

Corrected "face-on" total color indices. Total color indices $(U-B)_T^0$ and $(B-V)_T^0$ corrected for differential galactic and internal extinction and redshift were transferred from RC3.

Far-infrared magnitudes m_{FIR} . m_{FIR} values are based on the $f_{\nu}(60)$ and $f_{\nu}(100)$ "total" flux densities in Janskys in the IRAS 60 and 100 μm bands in IRAS Point Source Catalog (1987) and were also included in MERCG from RC3.

Surface brightness parameter m_{25}' . The mean surface brightness m_{25}' is given within the ellipse of axes ratio R_{25} in RC3 and transferred into MERCG.

Neutral hydrogen magnitude m_{21} and linewidth W_{20} . Weighted mean HI line magnitudes m_{21} corrected for beam-filling and reduced to a homogeneous system as well as weighted mean HI linewidth W_{20} in km/s at the 20% level corrected for bandwidth and reduced to a uniform scale were extracted from RC3.

Radial velocities. In RC3, the heliocentric radial velocities derived

from the 21-cm line profiles were reduced anew to a uniform system. They are usually much more precise than the optical observations and were preferred in MERCG, with a reference number 309. At the same time the weighted mean galactocentric velocities V_{GSR} , corrected for the solar motion relative to the Local Standard of Rest were also derived from RC3 for most galaxies with known redshifts.

More details on new version of MERCG can be found in Kogoshvili and Borchkhadze [6].

3. *A list of galaxies in the Virgo cluster according to their position in subclusters.* The structure of the Virgo cluster was analysed on the basis of positions and radial velocities of galaxies in the area with $12^h < \alpha < 13^h$ and $2^\circ < \delta < 19^\circ$. Six concentrations of galaxies were clearly emerged applying a generalized statistical criterion of Anosova [7] to the distribution of galaxies in this area.

A list of 540 bright galaxies arranged according to their position in a corresponding subcluster and with detailed information for each object has been compiled based on the data from MERCG and RC3. Most of these objects have their identification number in the catalogue of Virgo cluster galaxies of Binggeli et al [8] and includes their full list of dwarf galaxies.

4. *An analysis of galaxy distribution in subclusters singled out in the Virgo cluster area.* The Virgo cluster still attracts great attention of investigators due to its complex and irregular configuration and relative proximity as well as thanks to the explosive increase of observational data on galaxies in this area. About 1300 members and 500 possible members have been listed in the Virgo Cluster Catalogue by Binggeli et al. [8] selected based on morphological types of galaxies serving as a distance indicator, supplemented by velocity criterion when possible.

A large number of galactocentric velocities, contained in RC3 for galaxies located in the Virgo cluster made it possible to single out several galaxy condensations in the area, covered by this cluster, based on the generalized statistical criterion by Anosova, used previously by the authors in [9].

The present analysis is mainly based on the studies of the Virgo cluster galaxies, having redshifts in RC3.

The main concentration of galaxies in the Virgo cluster having a pronounced double structure and designated as Virgo I cluster by G. de Vaucouleurs and A. de Vaucouleurs [10], consists of two major aggregates, A cluster and B cluster, also identified by de Vaucouleurs [11]. It was denoted as Subcluster I in [9].

Mean galactocentric velocities and dispersions of galaxies according to their morphology are given in Table 1 for the subclusters singled out in the Virgo cluster area.

According to Table 1 the velocity means and dispersions determined for

Table 1

MEAN GALACTOCENTRIC GALAXY VELOCITIES AND DISPERSIONS
FOR THE VIRGO CLUSTER SUBCLUSTERS

Number of Subclusters	$\langle V \rangle$ all	σ	n	$\langle V \rangle$ E+SO	σ	n	$\langle V \rangle$ S+Irr	σ	n
Subcluster 1	680	573	147	849	527	72	517	568	75
A cluster	± 48			± 62			± 66		
Binggeli et al. [12]	1061	760	83						
Subcluster 1	± 83								
B cluster	865	376	81	825	356	21	879	381	60
Binggeli et al. [12]	± 42			± 80			± 50		
Subcluster 2	963	390	23						
South.Extn.	± 81								
Subcluster 3	1185	393	81	1158	340	14	1144	374	39
Cluster W	± 44			± 98			± 61		
Subcluster 4	2224	240	50	2323	187	14	2177	252	21
Subcluster 5	± 34			± 52			± 56		
Subcluster 6	1989	222	42	1902	147	12	2114	245	14
Cluster M	± 35			± 44			± 68		
Subcluster 7	1711	619	26	1304	401	7	1722	584	11
Subcluster 8	± 124			± 164			± 185		
Subcluster 9	2111	247	26	2184	320	6	2158	236	11
Subcluster 10	± 49			± 14			± 74		

galaxies in A and B clusters differ from the corresponding values derived in the work by Binggeli et al [12]. But the principal difference was found for the velocity mean of A cluster, which appeared to be less than the corresponding value for A cluster in [12].

The greater value of velocity mean for A cluster in [12] can be mostly due to a contribution from the background galaxies in the extended outer regions of the Virgo cluster, which were included into counts on the basis of a morphological criterion used in the work. In the present study the condensation of background galaxies, denoted as Subcluster 4, was singled out based on the statistical cluster method in the area behind the Virgo cluster with $\langle V \rangle$ of about 2000 km/s and a small dispersion of about 220 km/s, that could be an indication of its dynamical relaxation. The exclusion of these galaxies from counts in A cluster decreases the velocity means of galaxies. Besides, a large number of galaxies with small velocities from RC3 were also included in the samples under study.

Thus, according to velocity means shown in Table 1 B cluster seems to be more distant than A cluster. The suggestions that B cluster is more distant than A cluster by 0.4 mag and then by 0.46 mag were pointed previously by de Vaucouleurs [13] and Huchtmeier [14].

It should be noted that the velocity dispersion of early type galaxies doesn't distinguish noticeably from that of late type galaxies in A cluster and,

besides, a smaller dispersion $\sigma = 376$ km/s is derived for all galaxies in B cluster compared to A cluster.

Binggeli et al [12] used strip counts and radial projected galaxy density in their study of surface distribution of the Virgo cluster galaxies.

Based in our study on the enlarged statistics of galaxy velocities there was investigated the radial spatial distribution of galaxies according to their morphology in A and B clusters. Counts of galaxies were carried out from the center outwards in consecutive concentric shells outlined by spherically truncated cones in the velocity space.

The relative numbers of galaxies n_{i+1}/n were counted for early and late types separately in a fraction of volume occupied by the shell in the total volume of the A cluster $(V_{\sigma}^{i+1} - V_{\sigma}^i)/V_{\Sigma}$, where V_{Σ} is the total volume of the studied cluster and V_{σ}^i corresponds to the volumes of consecutive cones with i varying from 0 to k .

All the shells are centered on $\alpha = 12^{\text{h}}25^{\text{m}}$, $\delta = +13^{\circ}$ and $V = 900$ km/s for early and $V = 700$ km/s for late galaxy types in A cluster and on $\alpha = 12^{\text{h}}25^{\text{m}}$, $\delta = 8^{\circ}11'$ and $V = 900$ km/s for B cluster.

Tables 2 and 3 present the relative spatial density of galaxies ρ_p , galaxy number n , velocity $\langle V \rangle_i$, and absolute magnitude $\langle M_{B_T} \rangle_i$, means with their dispersions in the consecutive shells around the A and B cluster centers. The analysis of Table 2 shows a concentration of early type galaxies towards the A cluster center with a small velocity dispersion. However this distribution doesn't represent a smooth function of radial distance.

Table 2

THE RELATIVE GALAXY NUMBER SPATIAL DENSITIES, VELOCITY AND ABSOLUTE MAGNITUDE MEANS IN CONSECUTIVE SHELLS AROUND A CLUSTER CENTER

$B_i = V_{\sigma}^i/V_{\Sigma}$	0.013	0.11	0.33	0.78	1
E+S0 galaxies					
ρ_i	2.26	2.27	1.06	0.59	0.10
n_i	5	16	17	19	15
$\langle V \rangle_i$	777±32	970±67	1044±98	905±122	451±193
σ	64	259	393	518	721
$\langle M_{B_T} \rangle_i$	18.51±0.93	-18.42±0.57	-18.01±0.46	-18.37±0.42	-17.78±0.57
σ	1.87	2.23	1.86	1.79	2.12
S+Irr galaxies					
ρ_i	0.6	2.42	1.09	0.86	0.68
n_i	1	18	18	29	11
$\langle V \rangle_i$	681	597±80	598±128	483±129	379±178
σ		329	529	682	564
$\langle M_{B_T} \rangle_i$	-18.61	-17.29±0.49	-17.79±0.60	-18.17±0.37	-17.94±0.48
σ		2.03	2.48	1.96	1.5

Early type galaxies form several condensations in A cluster, namely, a central condensation around M84 with density $\rho=2.26$, the peak of galaxies containing M87 with density $\rho=2.27$ and a cloud of galaxies around M59, designated as "C cloud" elsewhere with $\rho=0.59$. This nonuniformity is well emphasized by rather enlarged values of the absolute magnitude means in the corresponding shells, though the segregation of E+S0 galaxies by luminosity from the center of A cluster to its periphery is clearly expressed.

The increase of E+S0 galaxies velocity means from the center outwards is replaced by their decrease in the outlying shells due to the presence of an excess number of galaxies with small and negative velocities.

The mean values of velocities for early and late type galaxies differ considerably, with larger velocity dispersion for late types (cf. Table 1). This result confirms the suggestion stated by de Vaucouleurs [10] on type-dependence of mean velocities. Early and late type galaxies show as well different spatial distributions: noticeably concentrated for E+S0 types and considerably dispersed for spirals and irregulars. The irregularity in late type galaxy velocities and absolute magnitude distribution, evident from their mean values in Table 2, was explained by Tully and Shaya [15] as a result of existence of oscillating shells of S and Irr galaxies around the cluster core.

B cluster is a smaller condensation of galaxies around M49 compared with A cluster and is populated mainly by late types and less number of strongly concentrated early types. Decrease in velocity and magnitude means from the center outwards is noted for both types of galaxies. The most striking feature

Table 3

THE RELATIVE GALAXY NUMBER SPATIAL DENSITIES, VELOCITY AND ABSOLUTE MAGNITUDE MEANS IN CONSECUTIVE SHELLS AROUND B CLUSTER CENTER

$B_i = V_i/V_z$	0.02	0.18	1
E+S0 galaxies			
ρ_i	11.4	2.43	0.40
n_i	5	9	7
$\langle V \rangle_i$	915±52	885±80	682±214
σ	105	227	524
$\langle M_{B_r} \rangle_i$	-18.83±0.80	-17.96±0.61	-17.55±0.80
σ	1.61	1.73	1.96
S+Irr galaxies			
ρ_i	8.1	1.98	1.04
n_i	10	21	29
$\langle V \rangle_i$	930±38	989±56	781±91
σ	115	249	482
$\langle M_{B_r} \rangle_i$	-17.75±0.34	-17.11±0.45	-16.92±0.28
σ	1.03	2.01	1.46

of B cluster is its small dispersion and closeness of velocity means for both morphological types. Despite its small dimensions this cluster represents all feature of regular clusters.

5. *An analysis of galaxy color distribution in subclusters in the Virgo cluster area.* A considerable number of "face-on" total $(B-V)_T^0$ color indices in RC3 for galaxies in the Virgo cluster made it possible to compare their distribution separately for A and B clusters composing together a "low-velocity" cluster and differing by morphological content and velocity dispersion of galaxies.

In Table 4 mean values of $(B-V)_T^0$ colors, radial velocities, numbers of galaxies and color excesses for E, S0, early S and late S types in A and B clusters are presented.

Mean weighted value of color excesses calculated for both A and B clusters turned out to be 0.053 ± 0.015 with a mean weighted difference of radial velocities $\Delta V = 201 \pm 79$ km/s. Thus it was noted a reddening effect of galaxies in B cluster in distinction from A cluster.

Table 4

GALAXY $(B-V)_T^0$ COLOR DISTRIBUTION IN A AND B CLOUDS

Subcluster	A			B			
	$\langle (B-V)_T^0 \rangle$	$\langle V \rangle$	n	$\langle (B-V)_T^0 \rangle$	$\langle V \rangle$	n	Color Excess
E	0.88 ± 0.016	959 ± 92	20	0.93 ± 0.016	1042 ± 111	6	0.05 ± 0.02
S0	0.84 ± 0.019	980 ± 83	23	0.87 ± 0.015	982 ± 188	7	0.03 ± 0.02
Early S	0.73 ± 0.027	556 ± 165	17	0.81 ± 0.044	878 ± 195	7	0.08 ± 0.05
Late S+Irr	0.48 ± 0.036	458 ± 111	17	0.62 ± 0.028	1049 ± 81	9	0.12 ± 0.04

The value of color excess increases if the galaxies from the more distant subclusters, projected upon the studied A and B clouds are considered together with them. In particular, B cluster was studied with subcluster 3 (W cloud) and A cluster with subclusters 4,5,6 [9], the latter designated as M elsewhere. The above mentioned values, based on the enlarged samples of galaxies for the mentioned areas are given in Table 5.

Mean weighted value of color excess becomes now $\delta = 0.072 \pm 0.013$ and point to the statistically significant difference in galaxy colors observed for two areas, covered by A and B clouds in the Virgo cluster. The difference of mean weighted velocities reaches the value $\Delta V = 348 \pm 110$ km/s for this areas.

How can be explained the effect of reddening of galaxies contained in B and W clouds compared to the rest part of the Virgo cluster?

The majority of investigators consider the Virgo complex to be a young object still in the process of formation, showing signs of interaction with intergalactic medium, for instance, the presence of strongly HI deficient spirals [15].

6. *Conclusions.* MERCG was enriched by new photometric observa-

Table 5

GALAXY $(B-V)_T^0$ COLOR DISTRIBUTION IN ENLARGED
SAMPLES FOR A AND B SUBCLUSTERS

Subcluster	A			B			
	$\langle(B-V)_T^0\rangle$	$\langle V \rangle$	n	$\langle(B-V)_T^0\rangle$	$\langle V \rangle$	n	Color Excess
E	0.87 ± 0.017	1166 ± 125	24	0.94 ± 0.015	1197 ± 182	7	0.07 ± 0.022
S0	0.83 ± 0.014	1143 ± 89	31	0.89 ± 0.014	1765 ± 184	17	0.06 ± 0.020
Early S	0.70 ± 0.025	1020 ± 169	27	0.82 ± 0.038	1378 ± 250	11	0.12 ± 0.046
Late S+Irr	0.49 ± 0.036	854 ± 178	23	0.59 ± 0.027	1457 ± 145	16	0.10 ± 0.045

tional data reduced to the uniform system in RC3 and taken from this catalogue and other published lists for the further use in statistical investigations.

The analysis of A and B clusters, forming the main concentrations of galaxies in the Virgo cluster and singled out based on the generalized statistical criterium of Anosova, showed lower velocity means and lower dispersions for all galaxy types in A cluster due to the exclusion of background galaxies from it and thus having made B cluster more distant than A cluster.

Based on the $(B-V)_T^0$ data from RC3 there was noted a statistically significant color excess of 0.072 ± 0.013 mag for galaxies of all types, more pronounced for spirals in the B cluster area compared to galaxies in the area of A cluster. The found effect can be connected with the presence of strongly HI deficient spirals.

The authors gratefully acknowledge G.Paturel for valuable galaxy data.

Abastumani Astrophysical Observatory,
Georgia

НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, КАСАЮЩИЕСЯ ИЗУЧЕНИЯ СТРУКТУРЫ СКОПЛЕНИЯ ДЕВА

Н.Г.КОГОШВИЛИ, Т.М.БОРЧХАДЗЕ

Подготовка новой версии Абастуманского Сводного каталога галактик в компьютерной форме, обогащенного наблюдательной информацией, приведенной к однородной системе в каталоге RC3 и перенесенной в него вместе с другими списками галактик, позволила использовать богатый фотометрический материал для изучения распределения галактик в подскоплениях, выделенных из скопления Дева с помощью статистического

метода Аносовой. Исследование пространственного распределения галактик в А и В подскоплениях, представляющих собой основные сгущения галактик в скоплении Дева, позволило изучить распределения плотности числа галактик, средних значений скоростей и абсолютных величин галактик различных морфологических типов от центров А и В подскоплений к периферии. На основе изучения ~250 скоростей галактик в этих подскоплениях оказалось, что подскопление В расположено дальше подскопления А, а средние значения скоростей оказываются зависимыми от морфологического типа галактик. Изучение показателей цвета для галактик, расположенных в областях неба занимаемых А и В подскоплениями показало статистически значимое отличие, свидетельствующее о большем покраснении галактик, отмеченных в В подскоплении, связанного, возможно, с наличием в этой области скопления галактик позднего типа с дефицитом водорода HII.

REFERENCES

1. *G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H.G. Corwin, Jr., R.J. Buta, G. Paturel, P. Fouqué*, Third Reference Catalogue of Bright Galaxies (RC3), Austin, Texas, 1991.
2. *N.G. Kogoshvili*, ADC CD-ROM, NASA, Selected Astronomical Catalogues, ID MERCG, 1986, 1987.
3. *G. Paturel, P. Fouqué, L. Bottinelli, L. Gouguenheim*, Catalogue of Principal Galaxies, Observatoires de Lyon et Paris-Meudon, 1989.
4. *B.A. Vorontsov-Veljaminov, A.A. Krasnogorskaja, V.P. Arkhipova*, Morphological Catalogue of Galaxies, I - V, M., 1962-1974.
5. *B.E. Markarian, D.A. Stepanian, V.A. Lipovetsky*, *Astrofizika*, 1966-1977.
6. *N.G. Kogoshvili, T.M. Borchkhadze*, Abastumani Astrophysical Observatory Bulletin N75, 2000.
7. *J.P. Anosova*, *Astrofizika*, 27, 535, 1987.
8. *B. Binggeli, A. Sandage, G.A. Tammann*, *Astron. J.*, 90, 1681, 1985.
9. *T.M. Borchkhadze, N.G. Kogoshvili*, *Astrofizika*, 42, 37, 1999.
10. *G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs*, *Astron. Astrophys.*, 28, 109, 1973.
11. *G. de Vaucouleurs*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 6, 213, 1961.
12. *B. Binggeli, G.A. Tammann, A. Sandage*, *Astron. J.*, 94, 251, 1987
13. *G. de Vaucouleurs*, preprint, 1986.
14. *W.K. Huchtmeier*, ESO Workshop on the Virgo Cluster of Galaxies, 1985, p.223.
15. *R.B. Tully, J. Shaya*, *Astrophys. J.*, 281, 31, 1984.

УДК: 524.7

ОПТИЧЕСКИЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ IRAS. ГАЛАКТИКИ. VII

А. М. МИКАЕЛЯН

Поступила 28 июня 2000

Принята к печати 15 января 2001

Приводится седьмой список объектов выборки BIG (Buzakan-IRAS Galaxies) - 95 галактик, отождествленных с 63 точечными источниками из каталога IRAS PSC. Отождествления проводились на основе Оцифрованного обзора неба (DSS), Первого Бюраканского обзора (FBS), голубых и красных карт Паломарского обзора неба (POSS) и инфракрасных потоков на длинах волны 12, 25, 60 и 100 мкм в области $+65^\circ \leq \delta \leq +69^\circ$ и $14^{\text{h}}00^{\text{m}} \leq \alpha \leq 18^{\text{h}}05^{\text{m}}$ с площадью в 96 кв.гр. Для отождествленных галактик определены оптические координаты, их отклонения от ИК-координат, звездные величины V , морфологические типы, угловые размеры и позиционные углы. Объекты имеют оптические звездные величины в пределах $13.8^{\text{m}} - 21.5^{\text{m}}$ и угловые размеры в пределах $4'' - 38''$. Приводятся карты отождествления для этих объектов из DSS.

1. Введение. Огромное количество современных наблюдательных данных в широком диапазоне спектра - от радиоволн до гамма-лучей невозможно осмыслить и использовать без их сопоставления с оптическими данными. Поэтому необходимы работы по оптическому отождествлению вновь обнаруженных источников в других диапазонах. Многоволновый подход стал наиболее продуктивным в отношении интересных внегалактических объектов - галактик с наблюдаемым процессом звездообразования и галактик с активными ядрами (AGN). С целью выявления AGN, галактик со вспышкой звездообразования (Starburst Galaxies), взаимодействующих галактик и "мерджеров", галактик с высокой ИК-светимостью, а также изучения этих объектов, взаимосвязей между ними и исследования Локальной Вселенной путем статистики выявленных объектов в данной области проводится программа оптических отождествлений точечных источников IRAS PSC [1] в области $+61^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$ на высоких галактических широтах ($|b| \geq 15^\circ$) [2].

Отождествления проводятся с помощью низкодисперсионных спектров Первого Бюраканского обзора (FBS) [3], изображений Оцифрованного обзора неба (DSS) [4], голубых и красных изображений Паломарского обзора неба (POSS) и инфракрасных потоков на длинах волны 12, 25, 60 и 100 мкм, приведенных в каталоге IRAS PSC. На первой стадии работы публикуются списки отождествленных объектов [5, 6 и ссылки в ней]. Параллельно, на трех телескопах уже начато исследование отдельных галактик. Оптическое отождествление всех без исключения ИК-источников позволяет также выявлять звезды поздних спектральных классов, данные

о которых публикуются отдельной серией работ [7].

2. *Отождествления источников IRAS.* Отождествления источников IRAS, как правило, проводят, отбирая внегалактические (или галактические) источники на основе ИК-потоков и галактической широты. В данной программе отождествляются все источники в указанной области, после чего отдельно составляются списки галактик и звезд. Такая работа имеет определенные преимущества, так как не пропускаются объекты с пекулярным ИК-цветом и с нехарактерной галактической широтой. Кроме того, спектры FBS позволяют опознать вероятных оптических двойников ИК-источников с большей уверенностью. Идеологические и методологические основы данной программы подробно описаны в работе [5]. Программа рассчитана на отождествление и исследование всех источников IRAS PSC в области $+61^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$ на высоких галактических широтах, где проводился обзор FBS.

В случаях, когда в эллипс неопределенностей IRAS-координат [1] попадает несколько слабых галактик так, что невозможно сразу правильно указать объект, который ответственен за ИК-излучение, в списки включаются все подходящие кандидаты для их дальнейшего изучения. Отбор проводится также на основании кросс-корреляции галактик с каталогом слабых источников IRAS FSC [8], с радио-каталогами (в частности, с Обзором неба NRAO/VLA - NVSS [9] и другими каталогами [10]). Кроме того, все объекты проверены с помощью базы данных NED* с радиусом поиска в 1'.

В случае внегалактических объектов, ИК-источниками являются в основном галактики с пекулярной морфологией и взаимодействующие группы: галактики с ярким балджем при отсутствии периферии, с признаками возмущения, со спутниками и областями НП, взаимодействующие пары и группы, "мерджеры", компактные группы и др. Наличие таких факторов позволяет проводить отождествления более уверенно, а в случае их отсутствия на изображении DSS, отождествленный объект может проявить такие пекулярности при дальнейшем детальном исследовании. Уверенность отождествления ИК-источника зависит от близости оптических и ИК-координат, яркости оптического объекта, типа объекта и др.

3. *Список отождествленных объектов.* Отождествления проводились в полосе со склонением $+65^\circ \leq \delta \leq +69^\circ$. В данной работе приводится третья часть объектов (область $14^{\text{h}}00^{\text{m}} \leq \alpha \leq 18^{\text{h}}05^{\text{m}}$).

В табл.1 приведен список 95 галактик, отождествленных с 63 точечными источниками IRAS PSC. Так как с некоторыми источниками отождествляется

* Внегалактическая база данных NASA/IPAC (NED) функционирует при Лаборатории реактивного движения, Калифорнийском технологическом институте, по контракту с Национальным управлением авиации и космических исследований.

по 2 и более оптических объектов, то в результате галактик оказывается больше, чем ИК-источников. В последовательных столбцах таблицы приведены: 1 - порядковый номер отождествленного объекта - номер BIG; 2 - обозначение источника IRAS; 3, 4 - оптические координаты для эпохи 2000.0 с точностью $0''.5$, определенные с DSS; 5, 6 - отклонения оптических координат от координат IRAS PSC ($\Delta\alpha = \alpha_{\text{opt}} - \alpha_{\text{ИК}}$ и $\Delta\delta = \delta_{\text{opt}} - \delta_{\text{ИК}}$); 7 - видимые звездные величины m_v с точностью около $0^m.5$, определенные с POSS на основании калибровки "диаметр изображения - звездная величина" [11], а также с использованием базы данных APS [12] и каталога USNO-A2.0 [13]; 8 - морфологический тип объектов, определенный с прямых изображений DSS; 9 - угловые размеры объектов на DSS с точностью до $1''.7$; 10 - позиционные углы галактик, также определенные с DSS (в направлении с севера на восток).

Наряду с известными морфологическими типами E, Sa-Sd, SB и Ir, использованы обозначения "S" и "Gal". "S" обозначает спиральные галактики, для которых подтип не определяется, а "Gal" - объекты, которые имеют незвездное изображение на DSS, но не поддаются классификации. В одном случае, ввиду слабости и близости 3 галактик, отождествление приведено как "Group", и компоненты не выделены. Знак ":" ставился в случае неуверенности классификации.

После таблицы приведены комментарии для объектов, включая ассоциации с Каталогом слабых источников IRAS FSC [8], радио- и рентгеновскими источниками (в частности, с источниками NVSS [9]), описание морфологических peculiarностей и расположений компонентов в группах и др. Ассоциации с источниками IRAS FSC приведены для тех оптических объектов (из числа компонентов), которые попадают в эллипсы неопределенностей IRAS FSC. Эти ассоциации показывают, что для уверенного нахождения интересующих нас галактик необходима тщательная проверка всех возможных кандидатов.

В конце работы приводятся карты отождествления для всех 95 галактик табл.1 в полях DSS с центрами координат 63 источников из IRAS PSC.

4. Заключение. В области $+65^\circ \leq \delta \leq +69^\circ$ и $14^h 00^m \leq \alpha \leq 18^h 05^m$ с площадью в 96 кв. гр. 63 неотожествленных источника, IRAS PSC оптически отождествлены с 95 галактиками. Среди них 41 является изолированной, 53 составляют 21 пару, кратную систему и группу (от 2 до 4 членов) и одна группа из 3 слабейших галактик приведена как один объект.

Среди отождествленных галактик есть 5 кандидатов в Sy (в основном по морфологии и по низкодисперсионным признакам), 31 радио- и 3 рентгеновских источника (которые, вероятно, также являются AGN), 4 взаимодействующие пары, 7 кандидатов в "мерджеры", 1 LSB-галактика, 1 галактика с УФ избытком, около 15 слабейших объектов - кандидатов

СПИСОК 95 ГАЛАКТИК, ОТОЖДЕСТВЛЕННЫХ С 63
IRAS-ИСТОЧНИКАМИ

BIG No	IRAS PSC источники	Оптические координаты		Отклонения координат Опт-IR(°)		m_p	Тип	Размеры (")	РА (°)
		α_{2000}	δ_{2000}	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
299	14005+6806	14 01 39.20	67 51 46.6	-10.0	-2.0	19.1	Sbc:	7x5	117
300	14013+6520	14 02 41.88	65 05 56.8	9.2	0.0	16.1	Sab	20x8	95
301	14022+6834	14 03 24.71	68 20 13.8	7.6	-2.9	16.2	Sab	15x8	96
302	14077+6842	14 08 50.33	68 28 44.0	12.4	5.9	18.1	Sbc	11x5	141
303	14110+6536	14 12 17.98	65 23 26.3	-2.5	26.7	20.0	Group	11x5	--
304a	14132+6552	14 14 24.73	65 38 37.4	-25.4	18.3	17.1	Sb:	8x7	37
304b	14132+6552	14 14 28.64	65 38 48.3	-1.2	29.1	17.7	Sab	8x7	101
304c	14132+6552	14 14 41.24	65 38 36.3	76.6	16.6	15.7	Sa	21x17	14
305	14167+6511	14 17 57.17	64 58 29.7	11.6	30.0	20.2	S:	7x3	0
306	14184+6504	14 19 35.90	64 50 21.6	-37.1	-20.2	18.7	Sbc:	6x4	146
307	14325+6724	14 33 24.69	67 11 53.8	-9.2	57.7	19.1	Sb	7x6	153
308	14579+6832	14 58 35.35	68 20 40.4	4.2	-16.9	16.8	Sb:	8x7	101
309	14580+6831	14 58 36.11	68 18 47.9	-4.2	-32.4	21.5	S:	4x4	--
310	14596+6858	15 00 08.88	68 46 45.8	6.0	6.6	16.0	Sa	14x11	166
311a	15083+6825	15 08 53.12	68 14 05.1	3.4	-4.6	15.5	Sb	17x13	53
311b	15083+6825	15 09 00.79	68 14 22.6	46.3	12.5	17.6	Sa	9x7	45
312a	15118+6604	15 12 31.08	65 53 23.9	3.6	-2.3	15.4	Sa	31x14	131
312b	15118+6604	15 12 36.06	65 52 42.4	33.8	-44.0	18.0	Sbc	10x7	31
313a	15159+6728	15 16 29.46	67 18 03.9	-17.5	1.5	19.4	Sbc	5x5	--
313b	15159+6728	15 16 33.45	67 17 53.9	5.6	-8.7	17.8	S:	10x4	149
313c	15159+6728	15 16 33.42	67 18 19.6	5.6	17.0	19.2	Sb:	7x5	135
313d	15159+6728	15 16 37.80	67 17 59.4	30.8	-3.5	17.1	Sb:	10x7	9
314	15252+6522	15 25 58.50	65 11 47.1	2.9	2.0	16.6	Sab	27x15	90
315a	15255+6804	15 25 56.01	67 53 41.3	-23.5	4.0	16.8	E:	15x7	6
315b	15255+6804	15 25 57.21	67 53 56.3	-16.6	18.9	16.8	E:	15x7	174
315c	15255+6804	15 26 01.75	67 53 27.3	8.7	-10.4	15.6	Sa:	17x16	37
316	15384+6706	15 38 52.53	66 57 12.9	-4.4	14.3	16.0	Sa	14x10	45
317	15441+6644	15 44 32.49	66 34 54.5	-4.8	-39.4	20.8	S:	6x4	34
318	15518+6711	15 52 12.51	67 03 42.5	19.8	72.2	13.8	Sa	33x17	53
319	16026+6539	16 03 01.45	65 31 10.2	-5.4	-0.5	14.7	Sa	31x14	65
320	16040+6601	16 04 27.77	65 53 22.7	-3.4	-3.6	16.1	Sa	15x10	174
321	16044+6727	16 04 39.59	67 19 30.6	-2.2	-8.8	16.4	Sb	20x8	125
322	16138+6635	16 14 11.40	66 28 24.6	12.9	45.4	15.2	Sab	23x12	176
323	16152+6713	16 15 25.16	67 06 03.7	-13.1	5.6	17.1	Sbc	10x7	149
324	16172+6511	16 17 40.20	65 04 03.4	1.6	6.8	18.5	S:	7x5	14
325	16202+6541	16 20 36.90	65 34 47.4	12.7	1.0	15.5	Sb:	17x8	169
326	16208+6500	16 21 12.43	64 54 13.0	0.3	16.4	18.4	Sb:	7x4	135
327a	16239+6833	16 23 56.94	68 27 26.3	11.4	17.9	18.5	Sa:	10x9	59
327b	16239+6833	16 23 58.38	68 27 01.0	19.0	-7.5	16.7	Sab	15x10	174
328	16273+6804	16 27 19.31	67 58 12.4	-7.1	0.7	15.5	Sa	13x10	0
329a	16274+6532	16 27 43.11	65 26 13.5	-19.9	-7.3	20.0	Sbc	7x2	0
329b	16274+6532	16 27 46.16	65 25 19.9	-1.4	-61.1	15.5	Sa	14x9	135
329c	16274+6532	16 27 47.52	65 25 32.5	7.2	-48.6	17.8	S:	8x7	143

Таблица 1(окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
329d	16274+6532	16 27 47.79	65 25 11.6	9.0	-69.8	18.5	Sb:	7x5	166
330a	16284+6749	16 28 25.14	67 42 30.2	-25.1	-53.9	17.0	Sa:	12x8	146
330b	16284+6749	16 28 32.32	67 43 28.7	16.5	4.0	19.3	S:	6x2	146
331	16346+6540	16 34 55.30	65 34 24.6	-2.6	5.6	16.3	Sa:	11x9	39
332a	16358+6709	16 35 57.22	67 03 44.1	-11.4	-6.5	15.6	Sa:	25x13	37
332b	16358+6709	16 36 00.81	67 03 55.5	9.7	4.7	16.2	Sa:	22x10	94
333a	16388+6859	16 38 31.03	68 53 40.4	-48.7	22.8	17.1	Sab	15x7	41
333b	16388+6859	16 38 39.85	68 53 25.9	-1.3	7.7	17.5	Sa	12x9	135
334	16393+6611	16 39 34.65	66 05 44.0	-1.2	-4.3	16.2	Sa	15x12	139
335	16460+6745	16 46 01.77	67 40 23.0	0.0	0.0	----	Gal:	----	--
336a	16470+6752	16 46 49.77	67 46 56.1	-50.7	-30.6	16.3	Sa	30x14	9
336b	16470+6752	16 47 01.23	67 47 54.4	15.0	26.9	16.5	Gal:	15x13	6
337	16483+6807	16 48 20.71	68 01 52.4	28.9	-26.6	15.8	Sa	15x13	41
338	16497+6634	16 49 53.25	66 29 07.3	2.7	-1.8	15.7	Sa	20x12	156
339a	16501+6815	16 49 55.70	68 10 06.4	-32.3	-3.3	21.8	Gal:	7x3	153
339b	16501+6815	16 49 58.79	68 10 17.3	-14.9	7.4	21.5	S:	5x4	45
339c	16501+6815	16 50 01.27	68 09 50.1	-1.4	-19.9	21.0	S:	5x5	45
339d	16501+6815	16 50 01.78	68 10 13.9	1.7	3.8	20.9	Gal:	7x3	76
340	16506+6826	16 50 32.64	68 22 30.3	-3.0	49.0	20.7	S:	8x4	37
341	16590+6849	16 58 55.45	68 44 46.4	10.8	-36.2	20.3	Gal:	6x4	34
342a	17044+6720	17 04 28.53	67 16 18.4	1.9	-14.3	16.8	S:	8x8	--
342b	17044+6720	17 04 28.39	67 16 28.1	2.4	-6.2	17.0	S:	10x10	--
343	17056+6759	17 05 32.98	67 55 10.9	1.2	-6.6	19.8	Sbc:	5x4	108
344a	17089+6558	17 08 58.05	65 55 09.2	-31.4	-4.3	17.6	Sa	12x7	172
344b	17089+6558	17 09 03.49	65 55 12.5	1.9	-1.5	15.6	Sa:	24x12	51
345a	17248+6701	17 24 48.30	66 59 21.3	0.2	6.5	17.4	S:	7x5	76
345b	17248+6701	17 24 49.58	66 59 19.6	7.6	4.6	17.3	S:	9x8	135
346	17274+6807	17 27 18.90	68 05 30.4	-1.0	-4.7	14.6	Sa	18x12	158
347	17309+6555	17 31 02.60	65 53 14.5	-7.3	5.9	16.8	Sa	18x12	34
348	17380+6709	17 37 59.72	67 08 15.3	-1.5	-0.9	16.2	Irr	21x14	129
349a	17455+6834	17 45 16.21	68 33 35.4	-16.6	-16.9	18.7	S:	7x5	153
349b	17455+6834	17 45 17.65	68 33 55.3	-8.4	2.8	18.9	Gal:	5x3	0
349c	17455+6834	17 45 22.41	68 33 53.4	17.6	0.7	20.3	Irr:	9x6	158
350	17460+6639	17 46 02.81	66 38 13.7	6.9	-35.4	16.2	SBB:	38x12	67
351	17493+6626	17 49 22.39	66 25 54.4	2.6	-4.2	15.8	S:	15x12	84
352	17495+6508	17 49 40.69	65 08 03.8	1.5	3.2	16.7	Sb:	24x7	82
353a	17537+6848	17 53 25.84	68 47 51.1	4.0	-8.0	17.2	Sa	11x6	129
353b	17537+6848	17 53 27.31	68 47 59.1	12.0	0.0	16.0	Sa	13x4	130
354	17548+6706	17 54 49.58	67 05 56.9	7.1	-2.7	19.3	Sb:	5x4	135
355a	17550+6520	17 55 05.56	65 19 55.5	-28.7	-2.9	15.5	Sab	17x12	17
355b	17550+6520	17 55 09.99	65 19 53.3	-0.9	-5.3	16.5	Sa	11x9	129
356a	17551+6752	17 54 57.61	67 51 44.7	-1.6	-3.8	18.8	Sb:	7x5	45
356b	17551+6752	17 55 01.48	67 51 18.0	19.9	-30.7	16.2	Sb:	10x9	9
356c	17551+6752	17 55 03.87	67 51 08.1	33.3	-40.7	19.3	Gal	7x2	90
356d	17551+6752	17 55 04.83	67 50 57.6	38.5	-51.3	18.7	Sb:	5x4	18
357	17560+6720	17 55 55.28	68 20 04.4	7.3	-4.1	15.7	Sab	17x14	29
358a	17585+6819	17 58 18.79	68 19 33.3	-10.5	9.1	21.0	Gal:	7x4	117
358b	17585+6819	17 58 21.39	68 20 01.5	4.2	37.1	18.0	Gal:	9x6	135
359	17586+6744	17 58 31.15	67 44 06.5	-1.5	-5.4	19.7	Gal	5x3	0
360a	18015+6518	18 01 41.94	65 19 01.1	16.9	-3.1	19.9	S:	5x4	72
360b	18015+6518	18 01 42.42	65 20 03.6	20.7	59.4	19.1	Irr:	11x5	129
361	18021+6556	18 02 19.47	65 57 19.8	29.9	33.7	19.2	Gal:	5x3	162

Примечания к объектам таблицы 1

- BIG 299 - Ассоциируется с источником F14005+6806.
- BIG 300 - Ассоциируется с источником F14013+6519. Кандидат в Су. Поблизости находится радиоисточник TXS 1401+653 [14].
- BIG 301 - Ассоциируется с ИК-источником F14022+6834 и с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 6.7$ Jy. В базе данных NED приводится $z = 0.06910$. На NW наблюдается галактика, вероятно, спутник отождествленного объекта (имеется промежуточная связь).
- BIG 302 - Объект с NE, возможно, также является галактикой. Взаимодействующая пара?
- BIG 303 - Группа из 3 близко расположенных слабых галактик. В таблице приведены размеры всей группы. В соседстве есть и другие слабые образования.
- BIG 304abc - Компонент с = NPM1G + 65.0108 [15]. Имеет яркий балдж со слабыми перифериями. Компоненты а и b взаимосвязаны. Компонента b имеет спутник на SE. Радиоисточник NVSS с $S_{21} = 9.3$ Jy можно ассоциировать со всеми 3 компонентами. В соседстве компонентов а и b есть еще несколько слабых галактик.
- BIG 307 - Галактика низкой поверхностной яркости (LSB).
- BIG 308 - Возможно, имеет спутник.
- BIG 309 - Ассоциируется с ИК-источником F14580 + 6832. Слабейшее образование. Поблизости находится радиоисточник WN B1458 + 6830 [16]. На SE (однако вне эллипса неопределенностей) есть более яркая галактика.
- BIG 310 - Ассоциируется с ИК-источником F14596 + 6858 и с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 5.8$ Jy. Имеет спутник на SW.
- BIG 311a - = NPM1G + 68.0125 [15], галактика типа Sy1.8, $z = 0.05820$. Именно этот компонент ассоциируется с ИК-источником F15083 + 6825 и с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 3.3$ Jy. Наблюдается глэшмя. В спиральных ветвях имеются области HII. Ассоциируется с рентгеновским источником RX J1508.8 + 6814 = [MHN96] J150853 + 681413 [17]. Возможно, взаимосвязана с компонентой b. На SW есть другая галактика (напоминающая "мерджер").
- BIG 312a - В работе [18] приводится как галактика с $z = 0.02322$. Именно этот компонент ассоциируется с ИК-источником F15118+6604 и с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 17.7$ Jy. Радиоисточник WN B1511 + 6604 [16]. В соседстве есть другие слабые галактики.
- BIG 313bcd - Ассоциируются с радиоисточником WN B1516+6728 [16]. Компонент b - компактный. ИК-источник F15159 + 6729 ассоциируется с компонентами abcd, а радиоисточник NVSS с $S_{21} = 5.5$ Jy - с компонентом b. Между компонентами а и b наблюдается слабое образование. Скорее всего это - физическая группа.
- BIG 314 - = LEDA 084650, согласно базе данных NED $z = 0.02965$. Ассоциируется с ИК-источником F15252 + 6522 и с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 3.8$ Jy.
- BIG 315abc - Компонент с = NPM1G + 68.0131 [15]. Именно этот компонент ассоциируется с ИК-источником F15256 + 6803 и с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 5.5$ Jy (также радиоисточник WN B1525 + 6804 [16]). Кандидат в Су. Компоненты а и b взаимосвязаны. Компонент а имеет спутник с юга.
- BIG 316 - Ассоциируется с источником F15384 + 6706. Имеет яркий балдж со слабыми перифериями.
- BIG 317 - Ассоциируется с источником F15441 + 6644.
- BIG 318 - Ассоциируется с источником F15518 + 6712.
- BIG 319 - Ассоциируется с источником F16026 + 6539.
- BIG 320 - = NPM1G + 66.0156 [15]. Ассоциируется с источником F16041 + 6602. Имеет яркий балдж со слабыми перифериями. Слабый компонент (спутник?) на NE.
- BIG 321 - = NPM1G + 67.0134 [15]. Ассоциируется с ИК-источником F16044 + 6727 и с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 2.9$ Jy.
- BIG 322 - Ассоциируется с источником F16139 + 6635. На SE наблюдаются 4 галактики, которые образуют дугу и связаны с основной галактикой. Группа?
- BIG 323 - На SE (вне эллипса неопределенностей) имеется другая галактика, возможно, взаимосвязанная с отождествленной.

- BIG 324 - Компактная галактика. На SE наблюдаются 2 связанных компактных образования, возможно, также галактики. Ассоциируется с ИК-источником F16172 + 6511 и с радиоисточником WN B1617 + 6510 [16].
- BIG 325 - В соседстве есть еще несколько слабых галактик. Спутник на востоке? Ассоциируется с ИК-источником F16202 + 6542 и радиоисточником 87GB 162019.3 + 654301 [19] = 8C 1620 + 657 = WN B1620 + 6542 [16].
- BIG 326 - Радиоисточник WN B1620+6500 [16]. Ассоциируется с ИК-источником F16208+6501. Возможно, связана с 2 другими галактиками в направлении NW.
- BIG 327b - =NPM1G+68.0146 [15]. В соседстве (но вне эллипса неопределенностей) есть еще 5 относительно ярких галактик. Возможно, группа или небольшое скопление галактик. Оба компонента ассоциируются с источником F16239 + 6833.
- BIG 328 - Компактная галактика. Имеет яркий балдж со слабыми перифериями. Кандидат в Sy.
- BIG 329bcd - Взаимосвязанные галактики. Компоненты b и d взаимодействуют. Рентгеновский источник [MNH96] J162750 + 652456 [17]. Ассоциируется также с группой ABELL 2207 [20]. Все 4 компонента ассоциируются с ИК-источником F16274 + 6532. В соседстве есть и другие слабые галактики. Интересно, что только компонента а попадает в эллипс неопределенностей.
- BIG 330ab - Компонент а - вне эллипса неопределенностей. В соседстве есть другие слабые галактики.
- BIG 331 - Компактная звездообразная галактика. Имеет яркий балдж при отсутствии периферии. Кандидат в Sy. Имеет спутник на NE. Ассоциируется с ИК-источником F16346 + 6540 и с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 3.9$ Jy.
- BIG 332ab - 2 взаимосвязанные галактики - "мерджер". Оба компонента ассоциируются с F16359 + 6709.
- BIG 334 - Имеет яркий балдж со слабыми перифериями. Спутник на NW. Ассоциируется с ИК-источником F16393 + 6611 и с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 4.6$ Jy.
- BIG 335 - Изображение объекта, по-видимому, покрыто яркой звездой, и определение типа и звездной величины невозможно. Однако есть все признаки, что это - галактика. Ассоциируется с источником F16460 + 6745.
- BIG 336ab - Компонент а - галактика с УФ-избытком KAZ 094 [21], приводится как эллиптическая. Компонент b имеет яркий балдж со слабыми перифериями. На западе от компонента а наблюдается еще одна галактика.
- BIG 337 - Компактная галактика. Имеет яркий балдж со слабыми перифериями. Ассоциируется с источником F16482 + 6807.
- BIG 338 - Компактная галактика. Ассоциируется с ИК-источником F16497 + 6633 и с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 2.4$ Jy.
- BIG 339abcd - Группа из 4 слабых галактик. Радиоисточник 7C 1649 + 6813 = WN B1649 + 6813 = [LRW88] 066 [16]. В соседстве есть еще несколько слабых образований.
- BIG 340 - Взаимодействующая пара или "мерджер"?
- BIG 342ab - Две взаимосвязанные галактики - "мерджер". Компонент b = [dKM92] 434 [22], где приводится $z = 0.13490$. Обе ассоциируются с ИК-источником F17044 + 6720 и с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 5.5$ Jy.
- BIG 343 - В спиральных ветвях наблюдаются области HII. Ассоциируется с источником F17056 + 6758. В соседстве есть другие слабые образования.
- BIG 344b - Именно этот компонент ассоциируется с ИК-источником F17089 + 6558 и с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 4.9$ Jy.
- BIG 345ab - Две взаимосвязанные галактики - "мерджер". Обе ассоциируются с ИК-источником F17248 + 6702 и с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 4.5$ Jy.
- BIG 346 - Компактная галактика. Имеет яркий балдж со слабыми перифериями. В соседстве есть несколько слабых образований. Ассоциируется с ИК-источником F17275 + 6807 и с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 3.7$ Jy.
- BIG 347 - =NPM1G+65.0155 [15]. Ассоциируется с ИК-источником F17309 + 6555. Компактная галактика. Можно ассоциировать с радиоисточниками VLANEP J1731.2 + 6553 и VLANEP J1731.2 + 6554 [23]. В соседстве есть несколько слабых образований.

Спутник на востоке.

- BIG 348 - Компактная галактика неправильной формы, "мерджер". Ассоциируется с ИК-источником F17380 + 6709 и с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 5.8$ Jy.
- BIG 349ab - Радиоисточник VLANEP J1745.3 + 6833 [23]. Эти две компоненты ассоциируются с F17455 + 6834. Компонент с состоит из двух взаимосвязанных частей, возможно - "мерджер". Компонент а ассоциируется с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 4.5$ Jy.
- BIG 350 - Радиоисточник VLANEP J1746.0+6638 [23]. Ассоциируется с ИК-источником F17460 + 6639. По изображению DSS создается впечатление, что состоит из 2 частей.
- BIG 351 - Возможно, состоит из двух частей. "Мерджер"? Радиоисточник VLANEP J1749.4 + 6625 [23]. Ассоциируется с ИК-источником F17493 + 6626 и с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 2.9$ Jy. По изображению DSS создается впечатление, что состоит из 2 частей.
- BIG 352 - Радиоисточник VLANEP J1749.7 + 6508 [23]. Ассоциируется с ИК-источником F17494 + 6508 и с радиоисточником NVSS с $S_{21} = 3.5$ Jy.
- BIG 353ab - Взаимодействующая пара. Оба ассоциируются с F17537 + 6848.
- BIG 355a - В работе [24] приводится как галактика типа Sy1 с $z = 0.08030$. Именно этот компонент ассоциируется с ИК-источником F17549 + 6520. Радиоисточник VLANEP J1755.1 + 6519 = IPC 17549 + 6521 [23], рентгеновский источник [MHB96] 17549 + 6520 = [MHN96] J175507 + 652000 [17]. Оба компонента ab имеют яркий балдж почти при отсутствии периферий.
- BIG 356abcd- Группа из 4 галактик. Все компоненты ориентированы плашмя. Имеются некоторые промежуточные образования ("мости") между компонентами, по-видимому, знаки взаимодействия. Компонент с ассоциируется с радиоисточником VLANEP J1755.1 + 6751 [23]. По-видимому, этот компонент и является ИК-источником, хотя он самый слабый в оптическом диапазоне. Источник F17552 + 6752 можно ассоциировать с компонентами bcd. Компонент b можно рассматривать как основную галактику со спутниками (компоненты с и d могут быть сверхассоциациями).
- BIG 357 - = NPM1G + 67.0155 [15]. Ассоциируется с источником F17560 + 6720.
- BIG 358ab - Ассоциируется с радиоисточником VLANEP J1758.5 + 6819 [23]. Оба компонента ассоциируются с ИК-источником F17585 + 6819.
- BIG 359 - Ассоциируется с ИК-источником F17586 + 6744. Несмотря на то, что галактика слабая, достоверность отождествления высока, так как галактика с точностью в 5" совпадает с позицией радиоисточника NVSS с $S_{21} = 2.5$ Jy, что указывает также на то, что галактика может быть активной. Вне эллипса неопределенностей, на западе наблюдается более яркая галактика.
- BIG 360ab - Компонент а может оказаться звездой. Сомнительное отождествление.
- BIG 361 - Может оказаться звездой. Сомнительное отождествление. Вне эллипса неопределенностей, на SE и W наблюдаются 2 другие галактики.

в ИК-галактики высокой светимости - LIG и ULIG (так как их ИК-потоки примерно равны потокам ярких галактик этого же списка). Объекты имеют звездные величины в пределах $13^m.8-21^m.5$ и угловые размеры в пределах $4''-38''$. По морфологии галактики в основном спиральные.

С 1997г. проводятся спектральные наблюдения вновь отождествленных галактик на 6-м телескопе Специальной астрофизической обсерватории РАН [25,26], а также на 1.93-м телескопе Обсерватории Верхнего Прованса (Франция) и 2.6-м телескопе Бюраканской астрофизической обсерватории. Из галактик, приведенных в табл.1, удалось пронаблюдать 5, а из объектов полосы $+65^\circ \leq \delta \leq +69^\circ$ - всего 23.

Автор выражает благодарность Ф.Верону и М.П.Верон-Сетти (Обсерватория Верхнего Прованса, Франция) за обсуждение программы

отождествлений и полезные советы, С.Балаяну и С.Акопян за полезные обсуждения.

В работе использовались NASA/IPAC внегалактическая база данных (NED), функционируемая Лабораторией реактивного движения (JPL, Калифорнийский технологический институт), по контракту с Национальным управлением аэронавтики и космических исследований (NASA), и APS-Каталог обзора POSS I, поддерживаемый Национальным Научным Фондом, Национальным управлением аэронавтики и космических исследований и Университетом Миннесота (США).

Бюраканская астрофизическая обсерватория
им. В.А.Амбарцумяна, Армения

OPTICAL IDENTIFICATIONS OF IRAS POINT SOURCES. GALAXIES. VII

A.M.MICKAELIAN

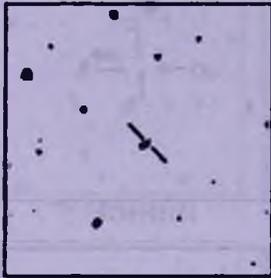
The seventh list of the BIG (Byurakan-IRAS Galaxies) sample objects is given - 95 galaxies identified with 63 point sources from IRAS PSC. The identifications have been made on the basis of the Digital Sky Survey (DSS), the First Byurakan Survey (FBS), blue and red images of the Palomar Observatory Sky Survey (POSS) and infrared fluxes at 12, 25, 60 and 100 μm wavelengths in the region $+65^\circ \leq \delta \leq +69^\circ$ and $14^{\text{h}}00^{\text{m}} \leq \alpha \leq 18^{\text{h}}05^{\text{m}}$ with a surface of 96 sq. deg. Optical coordinates, their deviations from the infrared ones, V magnitudes, morphological types, angular sizes and position angles for the identified galaxies are determined. The objects have optical magnitudes in the range $13.8^{\text{m}} - 21.5^{\text{m}}$, and angular sizes in the range $4'' - 38''$. Finding charts for these objects are given from the DSS.

ЛИТЕРАТУРА

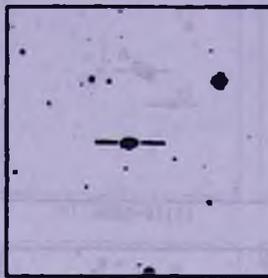
1. Joint IRAS Science Working Group. Infrared Astronomical Satellite Catalogs, The Point Source Catalog, Version 2.0, NASA RP-1190, 1988.
2. A.M.Mickaelian, *Astrofizika*, **38**, 625, 1995.
3. B.E.Markarian, V.A.Lipovetski, J.A.Stepanian, L.K.Erastova, A.I.Shapovalova, *Commun. Special Astrophys. Observ.*, **62**, 5, 1989.

4. *T.McGlynn, N.E.White, K.Scollick*, ASP Conf. Ser., **61**, 34, 1994.
5. *А.М.Микаелян*, Астрофизика, **40**, 5, 1997.
6. *А.М.Микаелян*, Астрофизика, **43**, 425, 2000.
7. *К.С.Гугоян, А.М.Микаелян*, Астрофизика, **43**, 361, 2000.
8. *M.Moshir, G.Kopan, T.Conrow et al.*, Infrared Astronomical Satellite Catalogs, The Faint Source Catalog, Version 2.0, 1990.
9. *J.J.Condon, W.D.Cotton, E.W.Greisen, Q.F.Yin, R.A.Perley, G.B.Taylor, J.J.Broderick*, Astron. J., **115**, 1693, 1998.
10. *М.П.Верон-Сетти, Ф.Верон*, частное сообщение, 1999.
11. *I.R.King, M.J.Raff*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **89**, 120, 1977.
12. *R.L.Pennington, R.M.Humphreys, S.C.Odewahn, W.Zumach, P.M.Thurmes*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **105**, 521, 1993; <http://aps.umn.edu/>.
13. *D.Monet, A.Bird, B.Canzian, H.Harris, N.Reid, A.Rhodes, S.Sell, H.Ables, C.Dahn, H.Guetter, A.Henden, S.Leggett, H.Levison, C.Luginbuhl, J.Martini, A.Monet, J.Pier, B.Riepe, R.Stone, F.Vrba, R.Walker*, USNO-SA2.0, (U.S. Naval Observ., Washington DC), 1996.
14. *J.N.Douglas, F.N.Bash, F.A.Bozyan, G.W.Torrence, C.Wolfe*, Astron. J., **111**, 1945, 1996.
15. *A.R.Klemola, B.F.Jones, R.B.Hanson*, Astron. J., **94**, 501, 1987.
16. *R.B.Rengelink, Y.Tang, A.G.De Bruyn, G.K.Miley, M.N.Bremer, H.J.A.Rottgering, M.A.R.Bremer*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., **124**, 259, 1997.
17. *E.C.Moran, J.P.Halpern, D.J.Helfand*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **106**, 341, 1996.
18. *K.B.Fisher, J.P.Huchra, M.A.Strauss, M.Davis, A.Yahil, D.Schlegel*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **100**, 69, 1995.
19. *P.C.Gregory, J.J.Condon*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **75**, 1011, 1991.
20. *G.O.Abell, H.G.Corwin, Jr., R.P.Olowin*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **70**, 1, 1989.
21. *М.А.Казарян*, Астрофизика, **15**, 5, 1979.
22. *М.Н.К.Де Грип, W.C.Keel, G.K.Miley, P.Goudfrooij, J.Lub*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., **96**, 389, 1992.
23. *R.I.Kollgaard, W.Brinkmann, M.МcMath Chester, E.D.Feigelson, P.Hertz, P.Reich, R.Wielebinski*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **93**, 145, 1994.
24. *E.C.Moran, D.J.Helfand, R.H.Becker, R.L.White*, Astrophys. J., **461**, 127, 1996.
25. *А.М.Микаелян, С.А.Акопян, С.К.Балаян, А.Н.Буренков*, Письма в Астрон. ж., **24**, 736, 1998.
26. *С.К.Балаян, С.А.Акопян, А.М.Микаелян, А.Н.Буренков*, Письма в Астрон. ж., **26**, 2001, (в печати).

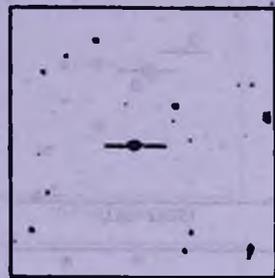
КАРТЫ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ IRAS ИСТОЧНИКОВ
(Север сверху, восток слева, размеры 5' x 5')



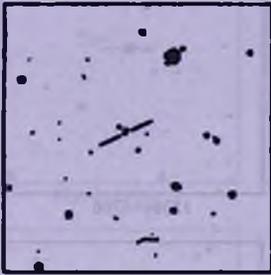
14005+6806



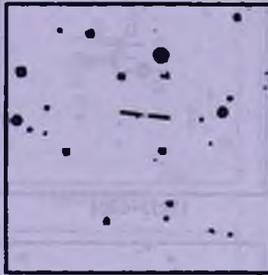
14013+6520



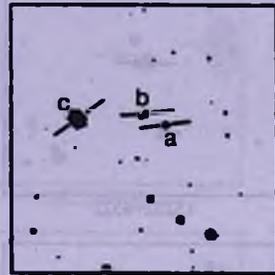
14022+6834



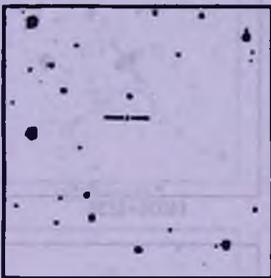
14077+6842



14110+6536



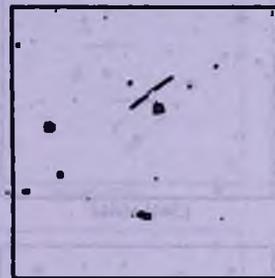
14132+6552



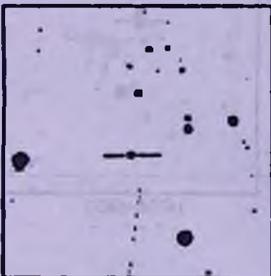
14167+6511



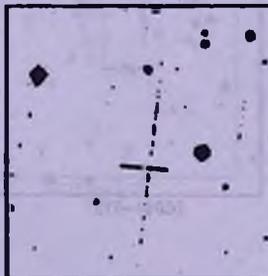
14184+6504



14325+6724



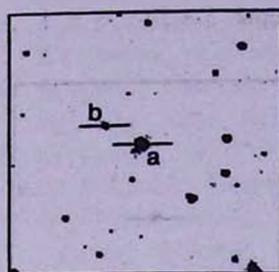
14579+6832



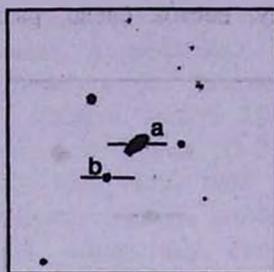
14580+6831



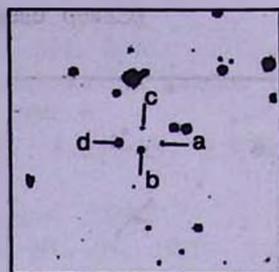
14596+6858



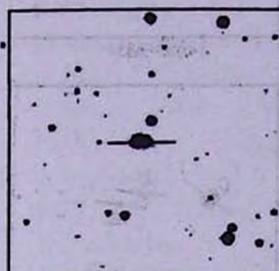
15083+6825



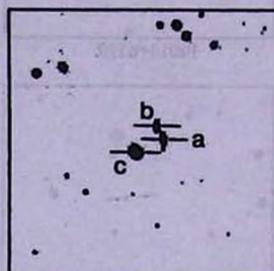
15118+6604



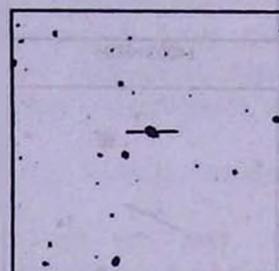
15159+6728



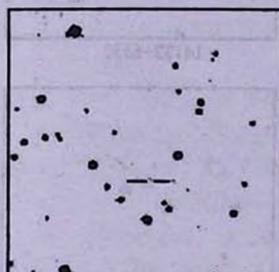
15252+6522



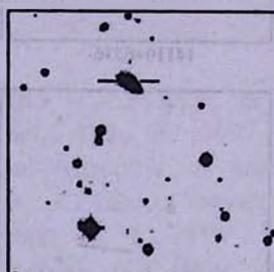
15255+6804



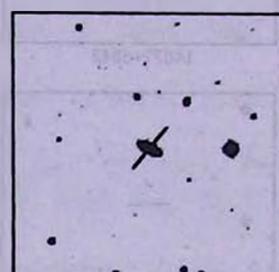
15384+6706



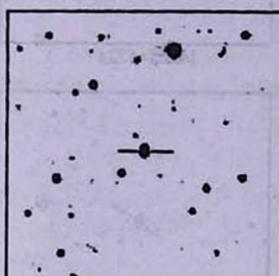
15441+6644



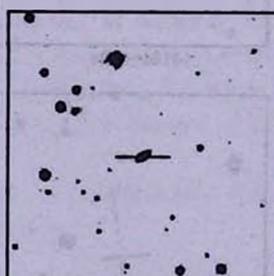
15518+6711



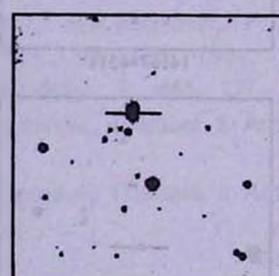
16026+6539



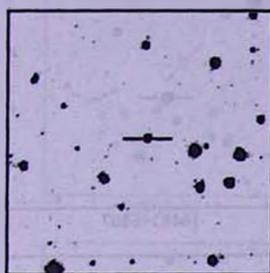
16040+6601



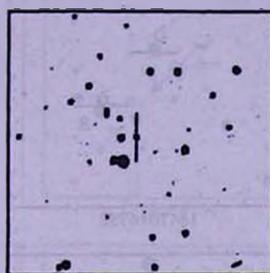
16044+6727



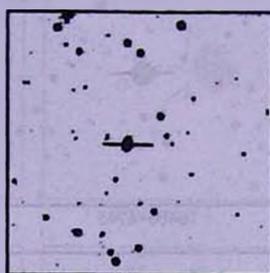
16138+6635



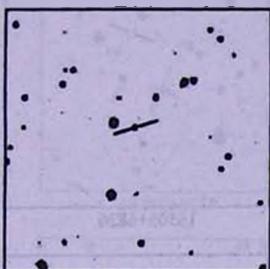
16152+6713



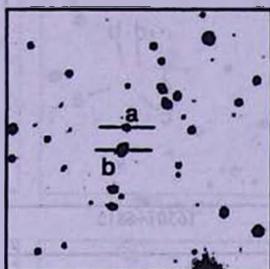
16172+6511



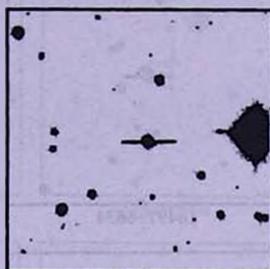
16202+6541



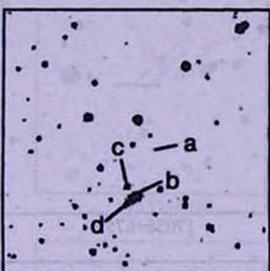
16208+6500



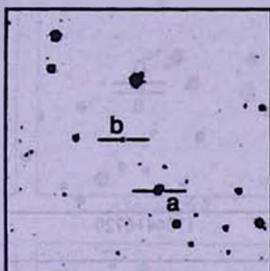
16239+6833



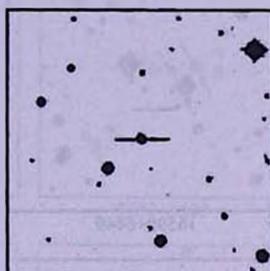
16273+6804



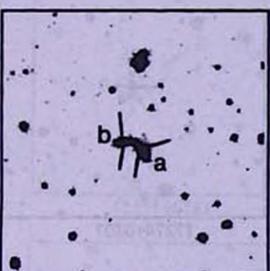
16274+6532



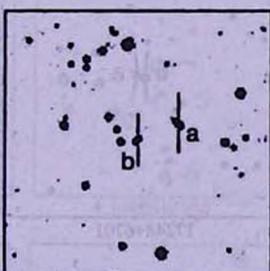
16284+6749



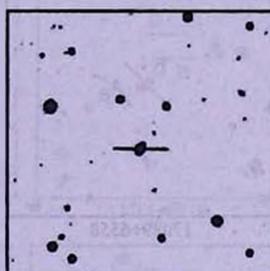
16346+6540



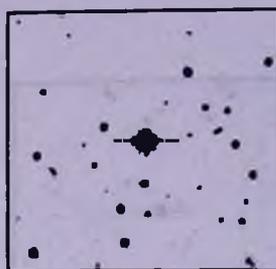
16358+6709



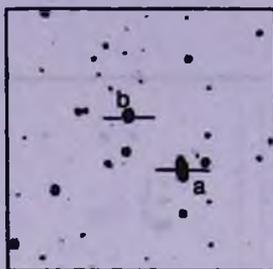
16388+6859



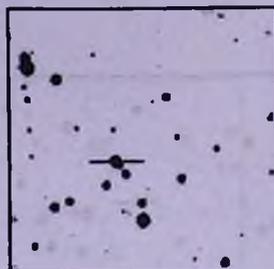
16393+6611



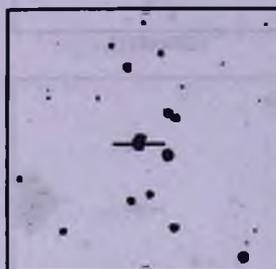
16460+6745



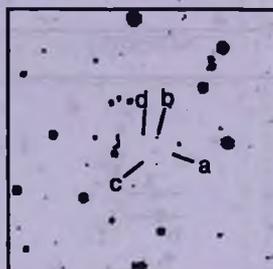
16470+6752



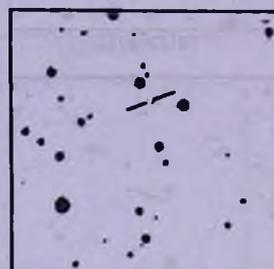
16483+6807



16497+6634



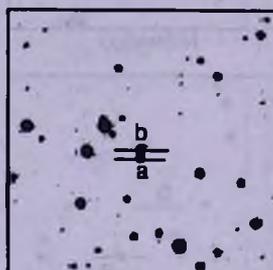
16501+6815



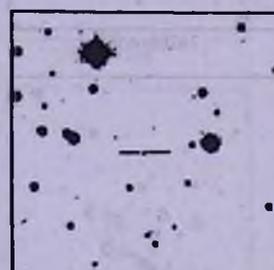
16506+6826



16590+6849



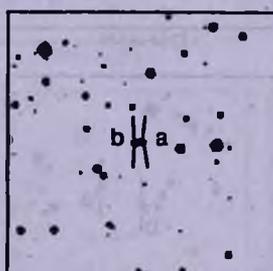
17044+6720



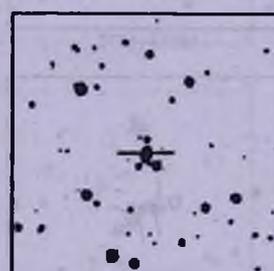
17056+6759



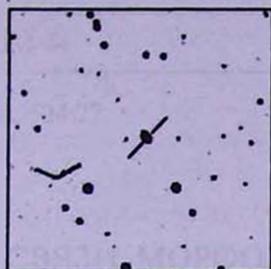
17089+6558



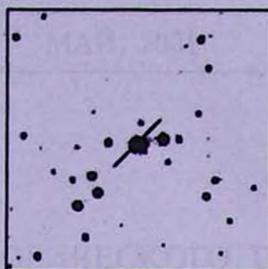
17248+6701



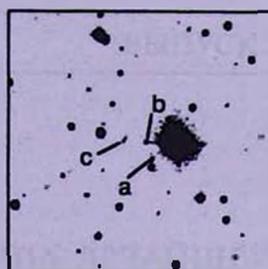
17274+6807



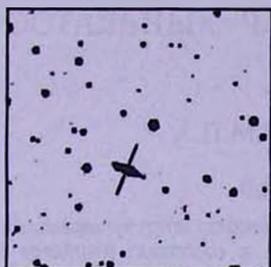
17309+6555



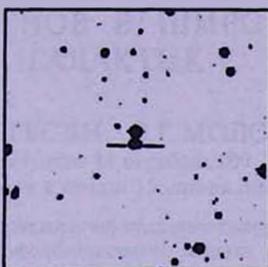
17380+6709



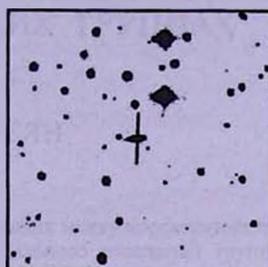
17455+6834



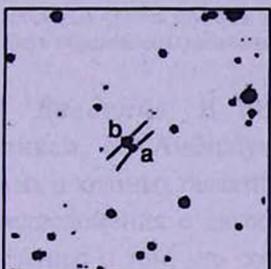
17460+6639



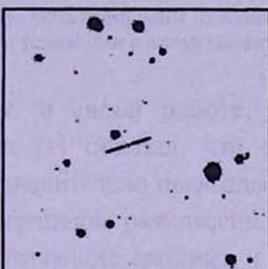
17493+6626



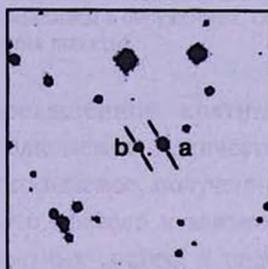
17495+6508



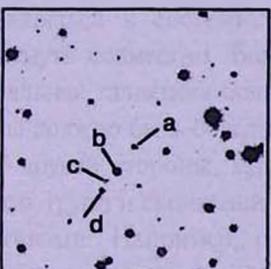
17537+6848



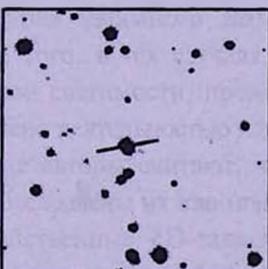
17548+6706



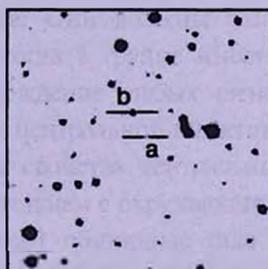
17550+6520



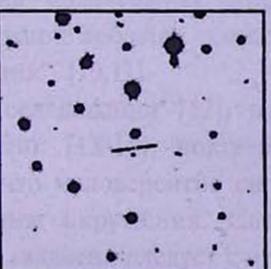
17551+6752



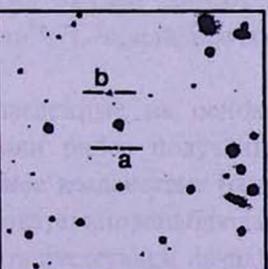
17560+6720



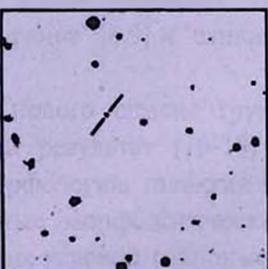
17585+6819



17586+6744



18015+6518



18021+6556

УДК: 524.77

О СВЯЗИ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ТИПА ЯРЧАЙШЕЙ ГАЛАКТИКИ И МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ ОСТАЛЬНЫХ ЧЛЕНОВ В ШИРОКИХ ГРУППАХ ГАЛАКТИК

А.П.МАГТЕСЯН, В.Г.МОВСЕСЯН

Поступила 18 октября 2000

Принята к печати 15 января 2001

Исследование групп галактик показало, что существует корреляция между морфологическим типом ярчайшей галактики и морфологическими типами остального населения группы. Распределения по морфологическим типам ярчайших галактик и остальных членов групп не отличаются друг от друга. Это означает, что наблюдаемые морфологические типы как ярчайших, так и остальных членов групп не могут быть объяснены их взаимодействием с окружением. Они могут быть обусловлены начальными условиями в эпоху образования галактик.

1. *Введение.* В 1956г. в своей работе, посвященной кратным галактикам, В.А.Амбарцумян [1] показал, что наблюдаемое количество двойных и кратных галактик значительно превышает ожидаемое, полученное из предположения о диссоциативном равновесии. Это привело к важному заключению о том, что составляющие двойных и кратных систем, а также скоплений не могли возникнуть независимо друг от друга и только потом объединиться в системы, путем взаимного захвата. Они должны были возникнуть совместно. Более того, в тех случаях, когда в группе имеется центральная галактика большой светимости, происхождение слабых членов группы должно быть обусловлено деятельностью ядра центральной галактики [2]. С другой стороны, многие авторы считают, что свойства центральных галактик групп и скоплений обусловлены их взаимодействием с окружающими галактиками. Например, свойственные сD-галактикам обширные гало и кратные ядра считаются следствием каннибализма [3-6]. Предполагается, что на морфологию галактик сильно влияют и такие процессы, как "обдирание лобовым давлением" [7], "приливное обдирание" [8,9] и "слияние галактик" [10,11].

Исследования [12], проведенные на основе нового списка групп галактик [13-15], подтвердили ранее полученный результат [16-18] о том, что маловероятно сильное воздействие на морфологию галактик со стороны окружения. Следовательно, наблюдаемые морфологические типы галактик следует считать следствием начальных условий (например, плотности или момента вращения протогалактики или протоскопления)

в эпоху их образования.

Целью настоящей работы является освещение на основании упомянутого выше списка групп галактик следующих вопросов:

1. Существует ли корреляция между морфологическим типом ярчайшей галактики и морфологическими типами остального населения группы? В том числе существует ли связь между морфологическими типами галактик первого и второго рангов в группах?

2. Отличается ли распределение по морфологическим типам галактик первого ранга от аналогичного распределения остальных галактик?

В работе [19] исследованы 9 групп Южного неба, которые имели доминирующую эллиптическую галактику. Оказалось, что отношение чисел сферических и плоских галактик в этих группах примерно в три раза превышает аналогичную величину для других групп. Авторы приходят к заключению, что наличие доминирующей эллиптической галактики содействует образованию других эллиптических галактик. Аналогичный вывод получен в работе [20], где изучены широкие группы.

В [16] одним из авторов данной статьи было получено, что в группах, относительно богатых эллиптическими и линзовидными галактиками, среди спиральных галактик ранние спирали встречаются чаще, чем в группах с меньшей долей эллиптических галактик. Это означает, что когда окружение спиральной галактики богато эллиптическими галактиками, то и в самой галактике с большой вероятностью можно обнаружить богатое звездное население II типа, а когда в окружении спиральной галактики мало эллиптических галактик, то вероятнее всего звездное население II типа в этой галактике слабо развито [21].

В посвященной изучению компактных групп работе [22] получено, что в группах, ярчайшим членом которых является спиральная галактика, относительное число спиральных галактик больше, чем в остальных. В другой работе, тоже посвященной изучению компактных групп галактик [23], показано, что распределения по морфологическим типам ярчайших галактик и всех галактик групп не отличаются друг от друга. Относительное количество спиральных галактик для всей выборки составляет 0,49, что почти совпадает с относительным количеством спиральных галактик среди главных членов групп (0,48). Кроме того, в этих группах обнаружена морфологическая согласованность между галактиками. Как оказалось, из 58 групп, содержащих по 4 галактики, 20 имели в своем составе галактики одного морфологического класса (раннего или позднего). Вероятность такого события, подсчитанная из предположения о независимости морфологических типов, ничтожно мала (около 10^{-5}).

При изучении двойных галактик в работах [24,25] получен, в частности, следующий результат: тенденцию объединения в пары имеют галактики с близкими морфологическими типами. К такому же заключению пришли

в работе [26], где были исследованы 16930 пар ближайших соседей.

2. *Выборка.* Список групп галактик составлен на основе CfA-обзора красных смещений [27]. Принципы идентификации приведены в [13] и [14], а каталог в [15]. Рассматриваются те группы, расстояния до которых лежат в интервале от 3-х до 80-и Мпк (постоянная Хаббла принята равной $H = 100$ км/с Мпк).

Морфологические типы галактик разделены на три подмножества, $t = 1, 2, 3$ следующим образом:

EL, $t = 1$ - эллиптические и линзовидные галактики (E + L или $T = -7 \div -1$ по кодированию де Вокулера [28]).

eS, $t = 2$ - ранние спирали (S0/a + Sb или $T = 0 + 3$).

IS, $t = 3$ - поздние спирали (Sc + Irt или $T = 4 + 10$).

В дальнейшем, говоря о морфологическом типе t галактик, будем иметь в виду одно из трех, описанных выше, подмножеств.

Для изучения вышепоставленных вопросов составлены синтетические группы посредством объединения групп, исходя из морфологического типа их ярчайшей галактики (галактики первого ранга).

В первое, второе и третье подмножества групп (синтетические группы) вошли те группы, у которых галактики первого ранга имели морфологические типы $t = 1, 2$ и 3 , соответственно.

3. *Результаты.* 3.1 *Зависимость морфологического типа второй по яркости галактики группы от морфологического типа ярчайшей галактики.* В табл.1 приведено распределение групп по морфологическим типам галактик первого (ярчайшая) и второго (вторая по яркости) рангов.

Сделаны следующие обозначения:

t_1, t_2 - морфологические типы t галактик первого и второго рангов, соответственно; N_2 - полное количество галактик второго ранга в изученных синтетических группах; $n_{i\cdot}$ - количество галактик второго ранга в группах, где галактика первого ранга имеет тип $t_1 = i$; $n_{\cdot j}$ - общее количество галактик второго ранга с морфологическими типами $t_2 = j$; $v_{\cdot j}$ - частота встречаемости галактик второго ранга с морфологическим типом $t_2 = j$; n_j - количество галактик второго ранга с морфологическим типом $t_2 = j$ в группах, где галактика первого ранга имеет морфологический тип $t_1 = i$; n_{0j} - ожидаемое значение величины n_j ; v_{0j} - частота встречаемости галактик второго ранга с морфологическим типом $t_2 = j$ в группах, где галактика первого ранга имеет тип $t_1 = i$.

Из вышеизложенных обозначений следует, что

$$v_{\cdot j} = \frac{n_{\cdot j}}{N_2}; \quad v_{0j} = \frac{n_{0j}}{n_{i\cdot}}. \quad (1)$$

При определении величин n_{0j} предполагалось, что в группах

морфологические типы галактик второго ранга не зависят от морфологического типа галактик первого ранга, т.е.

Таблица 1

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУПП ПО МОРФОЛОГИЧЕСКИМ ТИПАМ ГАЛАКТИК ПЕРВОГО И ВТОРОГО РАНГОВ

$i_1 \backslash i_2$	1 EL	2 eS	3 IS	Все гал. n_i
1 EL	38 (28.7) 0.49	24 (27.9) 0.31	16 (21.3) 0.21	78
2 eS	16 (23.2) 0.25	32 (22.6) 0.51	15 (17.2) 0.24	63
3 IS	20 (22.1) 0.33	16 (21.5) 0.27	24 (16.4) 0.40	60
все гал., n_j	74	72	55	$N_2 = 201$
v_j	0.37	0.36	0.27	

$$n0_{ij} = n_i \cdot v_{\cdot j} = \frac{n_i \cdot n_{\cdot j}}{N_2} \quad (2)$$

В табл.1 на пересечении i -ой строки с j -ым столбцом приведены следующие три величины: наверху n_{ij} и рядом в скобках $n0_{ij}$, внизу $v_{\cdot j}$.

Сравнение наблюдаемых и ожидаемых распределений с помощью критерия χ^2 показывает, что они отличаются друг от друга на уровне значимости 0.01.

Как видно из таблицы, наблюдаемые числа превосходят ожидаемые на большой диагонали ($i = j$) матрицы, а по мере удаления от этой диагонали разность этих чисел меняется в другую сторону. Это означает, что морфологические типы галактик второго ранга имеют тенденцию быть подобными морфологическим типам галактик первого ранга.

Отличие распределений наблюдаемых и ожидаемых чисел станет более наглядным при использовании корреляционного спектра, введенного в [26], который определяется следующим образом:

$$C(dt) = \frac{\sum_{i-j=dt} n_{ij}}{\sum_{i-j=dt} n0_{ij}} \quad (3)$$

Аргументом функции $C(dt)$ является условное расстояние dt между морфологическими типами галактик первого и второго рангов. Значение функции для конкретного значения аргумента dt определяется отношением наблюдаемых и ожидаемых чисел галактик, для которых разность морфологических типов первого и второго рангов галактик равняется dt . В данном случае dt принимает целые значения от -2 до 2. Для $C(dt)$ в случае случайного распределения следовало ожидать равное единице значение, независимо от аргумента dt (т.е. имели бы $n_{ij} = n0_{ij}$).

В табл.2 приведены корреляционные спектры $C(dt)$ для близких групп ($300 < V < 3000$ км/с) и для всей выборки ($300 < V < 8000$ км/с).

Как видно из табл.2, функция $C(dt)$ принимает максимальное значение при $dt=0$, причем это справедливо как для близких, так и для далеких групп, т.е. исключается влияние расстояния на данный результат.

Таблица 2

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ СПЕКТР МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ТИПОВ ПЕРВОГО И ВТОРОГО РАНГОВ ГАЛАКТИК В ГРУППАХ С ЧИСЛОМ ЧЛЕНОВ $n = 2 + 18$

dt	-2	-1	0	1	2	
$C(dt)$	0.75	0.86	1.39	0.72	0.91	случай $300 < V < 8000$ км/с
$C(dt)$	0.71	0.83	1.41	0.87	0.71	случай $300 < V < 3000$ км/с

3.2. Зависимость морфологического содержания группы от морфологического типа галактики первого ранга. В табл.3 приведено распределение обычных (кроме ярчайших) галактик по морфологическим типам в зависимости от морфологического типа галактик первого ранга для групп с числом членов от 2 до 18. Обозначения похожи на обозначения табл.1. Через t_1 и $t_{ост}$ обозначены морфологические типы первых и остальных (обычных) рангов галактик, соответственно.

Приведенные в табл.3 величины определены следующим образом:

$N_{ост}$ - полное количество обычных галактик; n_i - количество обычных галактик в группах, где галактика первого ранга имеет тип $t_1 = i$; n_j - общее количество обычных галактик с морфологическими типами $t_{ост} = j$; v_j - частота встречаемости обычных галактик групп с морфологическим типом $t_{ост} = j$; n_j - количество обычных галактик с морфологическим типом $t_{ост} = j$ в группах, где галактика первого ранга имеет морфологический тип

Таблица 3

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЫЧНЫХ ГАЛАКТИК ПО МОРФОЛОГИЧЕСКИМ ТИПАМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ТИПА ГАЛАКТИК ПЕРВОГО РАНГА ДЛЯ ГРУПП С ЧИСЛОМ ЧЛЕНОВ ОТ 2 ДО 18

$t_1 \backslash t_{ост}$	1 EL	2 eS	3 IS	Все гал. n_j
1 EL	113 (90.8) 0.47	82 (87.1) 0.34	46 (63.1) 0.19	241
2 eS	43 (56.1) 0.29	59 (53.8) 0.40	47 (39.0) 0.31	
3 IS	41 (50.1) 0.31	48 (48.1) 0.36	44 (34.8) 0.33	
Все гал., n_j	197	189	137	$N_{ост} = 523$
v_j	0.38	0.36	0.26	

$t_i = i$; n_{0_i} - ожидаемое значение величины n_i ; v_i - частота встречаемости обычных галактик с морфологическим типом $t_{\text{мор}} = i$ в группах, где галактика первого ранга имеет тип $t_1 = i$.

Статистическая значимость различий, оцененная с помощью критерия χ^2 , между распределениями наблюдаемых и ожидаемых чисел показывает, что они отличаются друг от друга на уровне значимости 0.001.

Чтобы уменьшить влияние галактик второго ранга на данный результат, нами были отдельно рассмотрены группы с числом членов от 5 до 18. Результаты для этой выборки приведены в табл.4. Обозначения в табл.4 аналогичны обозначениям в табл.3.

Таблица 4

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЫЧНЫХ ГАЛАКТИК ПО
МОРФОЛОГИЧЕСКИМ ТИПАМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ТИПА ГАЛАКТИК ПЕРВОГО
РАНГА ДЛЯ ГРУПП С ЧИСЛОМ ЧЛЕНОВ ОТ 5 ДО 18

$t_1 \backslash t_{\text{мор}}$	1 EL	2 eS	3 IS	Все гал. n_i
1 EL	81 (66.4) 0.53	48 (53.7) 0.32	23 (31.9) 0.15	152
2 eS	24 (32.3) 0.32	28 (26.1) 0.38	22 (15.5) 0.30	74
3 IS	20 (26.2) 0.33	25 (21.2) 0.42	15 (12.6) 0.25	60
Все гал., n_j	125	101	60	$N_{\text{мор}} = 286$
v_j	0.44	0.35	0.21	

В данном случае статистическая значимость различий между распределениями наблюдаемых и ожидаемых чисел, оцененная с помощью критерия χ^2 , показывает, что они отличаются друг от друга на уровне значимости 0.01.

Итак, можно сказать, что морфологические типы обычных галактик в группах имеют тенденцию быть близкими к морфологическому типу галактик первого ранга.

Таблица 5

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ СПЕКТР МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ТИПОВ
ПЕРВОГО И ОСТАЛЬНЫХ РАНГОВ ГАЛАКТИК В ГРУППАХ С
РАЗНЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА ВЫБОРКУ ПО РАССТОЯНИЮ
И КОЛИЧЕСТВУ ЧЛЕНОВ

dt	-2	-1	0	1	2	Число членов	Расстояние (в км/с)
$C(dt)$	0.80	0.97	1.16	1.03	0.73	2+18	300 < V < 3000
$C(dt)$	0.86	0.96	1.17	0.77	1.00	2+18	3000 < V < 8000
$C(dt)$	0.73	1.02	1.20	0.87	0.82	2+18	300 < V < 8000
$C(dt)$	0.72	1.01	1.18	0.92	0.76	5+18	300 < V < 8000

При изучении групп галактик, находящихся на разных расстояниях от нас, обнаруживается, что полученный выше результат не может быть вызван эффектом расстояния. В табл.5 приведены корреляционные спектры для разных ограничений на выборку по расстоянию и количеству членов. Как можно легко заметить из табл.5, во всех случаях имеется хорошо выраженный максимум корреляционного спектра, при значении аргумента $dt = 0$.

3.3 Распределения морфологических типов галактик разных рангов в группах. В табл.6 приведены распределения морфологических типов первого ранга (2-й столбец), второго ранга (3-й столбец) и всех галактик (4-й столбец). В столбцах 2 и 3 приведены наблюдаемые и ожидаемые (в скобках) величины количества галактик данного ранга с данным морфологическим типом. При определении ожидаемых величин сделано предположение, что распределения морфологических типов галактик в группах не зависят от их ранга.

Не трудно заметить, что распределения по морфологическим типам

Таблица 6

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО МОРФОЛОГИЧЕСКИМ
ТИПАМ ДЛЯ ГАЛАКТИК ПЕРВОГО И ВТОРОГО
РАНГОВ И ДЛЯ ВСЕХ ГАЛАКТИК

	$n_{t_1}(nO_{t_1})$	$n_{t_2}(nO_{t_2})$	Все гал.
EL	93 (91.4)	82 (83.3)	304
eS	74 (82.1)	76 (74.8)	273
IS	70 (63.5)	58 (57.8)	211

галактик конкретного ранга не отличаются от ожидаемого распределения. Это утверждение подтверждается с помощью статистического анализа.

Итак, можно сказать, что не обнаруживается корреляция между морфологическим типом и рангом галактик в группах для нашей выборки.

4. Заключение. На основе изучения списка групп галактик [15] получены следующие результаты:

1) Существует корреляция между морфологическими типами галактик первого и второго рангов (по яркости), а также между морфологическими типами галактик первого ранга и морфологическим содержанием остального населения группы. Для морфологических типов перечисленных подмножеств обнаруживается строгая тенденция быть похожими друг на друга.

2) Распределения по морфологическим типам галактик первого и второго рангов статистически не отличаются от аналогичного распределения для всех галактик.

Эти результаты наводят на мысль, что наблюдаемые морфологические типы галактик не могут быть объяснены такими механизмами, как "обдирание

лобовым давлением", "приливное обдирание" и "слияние галактик". Скорее всего, они обусловлены начальными условиями в эпоху образования галактик.

В свете образования галактик посредством деления протогруппы возможны два следующих механизма:

1) Сначала протогруппа распадается на части, из которых в дальнейшем формируются галактики.

2) Сначала формируется главная (ярчайшая) галактика, из которой в дальнейшем, посредством выброса или распада, формируются остальные галактики группы.

В обоих случаях ожидается полученный в данной работе результат о корреляции между морфологическими типами членов группы, в частности между морфологическим типом ярчайшей галактики и морфологическим содержанием остального населения группы. А преобладание того или иного морфологического типа в группе обусловлено начальными условиями в протогруппе или протогалактике (например, массой, плотностью или моментом вращения) в эпоху образования галактик.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
им. В.А.Амбарцумяна, Армения

ON RELATIONSHIPS OF MORPHOLOGICAL TYPES OF THE MOST LUMINOUS GALAXY AND MORPHOLOGICAL CONTENTS OF REST MEMBERS IN LOOSE GROUPS OF GALAXIES

A.P.MAGTESIAN, W.G.MOVSESIAN

The study of groups of galaxies has shown that a correlation exists between morphological types of the most luminous galaxy and morphological types of the rest population of group. Distribution of morphological types of most luminous galaxies and rest members of groups are not distinguished from each other. This means that observed morphological types of the most luminous as well as of the rest members of groups cannot be explained by their interaction with the environment. They are to be stipulated by initial conditions in the epoch of forming the galaxies.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А.Амбарцумян, Изв. АН Арм.ССР, сер. физ-мат. наук, 9, 23, 1956.
2. V.A.Ambarzumian, Transactions of the International Astronomical Union, vol. XII, Academic Press, London, New York, 1962, p.145.
3. J.P.Ostriker, S.D.Tremaine, Astrophys. J., 202, L113, 1975.
4. J.P.Ostriker, M.A.Hausman, Astrophys. J., 217, L125, 1977.
5. M.A.Hausman, J.P.Ostriker, Astrophys. J., 224, 320, 1979.
6. S.D.Tremaine, in "The Structure and Evolution of Normal Galaxies", eds. S.M.Fall, D.Lynden-Bell, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1981, p.67.
7. J.E.Gunn, J.R.Gott, III, Astrophys. J., 176, 1, 1972.
8. J.S.Gallagher, J.P.Ostriker, Astrophys. J., 77, 288, 1972.
9. D.O.Richstone, Astrophys. J., 204, 642, 1976.
10. A.Toomre, in "The Evolution of Galaxies and Stellar Populations", eds. B.M.Tinsley, R.B.Larson, New Haven: Yale Univ. Press, 1977, p.401.
11. S.D.M.White, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 177, 717, 1976.
12. A.P.Mahtessian, V.H.Movsessian, E.Ye.Khachikian, H.Tiercsh, Astron. Nachr., 316, 143, 1995.
13. А.П.Магтесян, Астрофизика, 28, 255, 1988.
14. А.П.Магтесян, Астрофизика, 40, 45, 1997.
15. А.П.Магтесян, Астрофизика, 41, 473, 1998.
16. А.П.Магтесян, Сообщ. Бюракан. обсерв., 53, 102, 1982.
17. G.Ciuricin, F.Mardirossian, M.Mezzetti, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 62, 157, 1985.
18. Н.А.Тухонов, Сообщ. Спец. астрофиз. обсерв., 52, 51, 1987.
19. A.Wirt, Astrophys. J., 274, 541, 1983.
20. M.Ramella, G.Ciuricin, F.Mardirossian, M.Mezzetti, Astron. Astrophys., 188, 1, 1987.
21. А.П.Магтесян, Сообщ. Бюракан. обсерв., 57, 13, 1985.
22. P.Hickson, Z.Ninkov, J.Huchra, G.Mamon, in "Clusters and Groups of Galaxies", eds. F.Mardirossian, G.Ciuricin, M.Mezzetti, Dordrecht: Reidel, 1984, p.367.
23. P.Hickson, E.Kindl, J.Huchra, Astrophys. J., 331, 64, 1988.
24. И.Д.Караченцев, В.Е.Караченцева, Астрон. ж., 51, 724, 1974.
25. P.D.Noerdlinger, Astrophys. J., 229, 877, 1979.
26. T.Yamagata, M.Noguchi, M.Iye, Astrophys. J., 338, 707, 1989.
27. J.Huchra, M.Davis, D.Lattam, J.Tonry, Astrophys. J. Suppl. Ser, 52, 89, 1983.
28. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H.G.Corwin, Second Reference Catalogue of Bright Galaxies, Univ. Texas Press, Austin, 1976.

УДК: 524.31

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХРОМА В АТМОСФЕРАХ СР-ЗВЕЗД. II. МОДЕЛИРОВАНИЕ

И.С.САВАНОВ¹, О.П.КОЧУХОВ^{1,2}, В.В.ЦЫМБАЛ²

Поступила 30 августа 2000

Принята к печати 15 января 2001

С помощью детального моделирования профилей линий Cr II подобраны вертикальные распределения хрома в атмосферах нескольких Ar- и Am-звезд. В случае Ar-звезд полученные вертикальные распределения согласуются с результатами исследований Бабеля линий Cr в спектре Ar-звезды 53 Cam. Показано, что наблюдательные данные не могут быть интерпретированы в рамках гипотезы о переменности с глубиной микротурбулентной скорости.

1. Введение. В данной работе мы продолжаем изучение вертикальной стратификации химических элементов в атмосферах СР-звезд. На основании новых наблюдений ранее [1] нами была проведена диагностика вертикального распределения Cr в атмосферах четырех Am, двух Hg-Mn и двух магнитных Ar-звезд. В настоящей статье мы представляем результаты количественного расчета вертикального распределения Cr в атмосферах некоторых Ar- и Am-звезд и рассматриваем возможность интерпретации нашего наблюдательного материала в рамках альтернативной гипотезы о переменности с глубиной микротурбулентной скорости ξ_r .

2. Моделирование вертикального распределения хрома. Следующим естественным шагом после получения зависимостей содержания Cr от $\Delta\lambda$ является определение вертикального распределения Cr в реальной шкале геометрических или оптических глубин звездной атмосферы. Такой расчет необходим для сравнения наблюдательных данных с предсказаниями теории. Исходная зависимость $\log(Cr/N)$ от $\Delta\lambda$ может быть истолкована как доказательство самого факта наличия вертикальной стратификации Cr, однако не может быть использована для количественного анализа стратификации. Романюк и Топильская [2], анализируя эквивалентные ширины линий Cr II, полученные для α^2 CVn в работах [3] и [4], рассчитали оптические глубины формирования W_λ линий 30-го мультиплета Cr, получив таким образом зависимость $\log(Cr/N)$ от оптической глубины. В нашем исследовании, основанном на расчете синтетических спектров, мы отказались от применения такой методики по следующим причинам: во-первых, существуют разногласия относительно самого определения понятия глубины

формирования монохроматического излучения (см., например, обсуждение этого вопроса в работах [5] и [6]), во-вторых, использование для анализа линий Cr метода спектрального синтеза предполагает анализ формирования каждой точки спектра и не допускает естественного использования понятия глубины формирования спектральной линии в целом. Кроме того, так как спектральная линия в общем случае формируется на достаточно большом интервале оптических глубин, то высказывались сомнения [7] относительно принципиальной возможности сопоставления всей спектральной линии некоторой определенной глубины формирования.

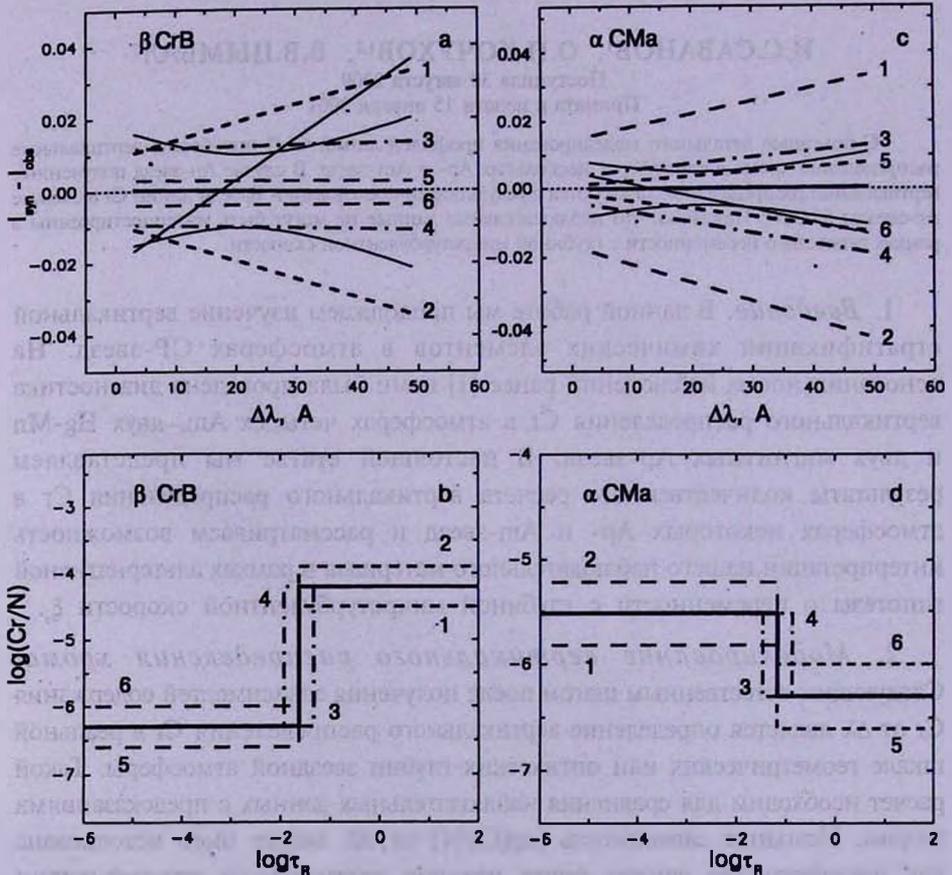


Рис.1. а) Линейная аппроксимация зависимостей $I_{\text{syn}} - I_{\text{obs}}$ от $\Delta\lambda$ для различных вертикальных распределений Cr в атмосфере β CrB. Сплошная тонкая линия соответствует однородному распределению с $\log(Cr/N) = \langle \log(Cr/N) \rangle$ (см. табл.1), жирные линии - ступенчатым изменениям $\log(Cr/N)$: сплошная линия - оптимальное распределение, штриховые, штрих-пунктирные и короткие штриховые линии - вариации на ± 0.3 dex оптимальных значений $\log(Cr/N)$, $\log\tau_r$ и $\log(Cr/N)$. Сплошными тонкими кривыми показан 95%-ый доверительный интервал линейной аппроксимации зависимости $I_{\text{syn}} - I_{\text{obs}}$ от $\Delta\lambda$ для оптимального распределения Cr. б) Ступенчатые распределения Cr в атмосфере β CrB, использованные для построения зависимостей $I_{\text{syn}} - I_{\text{obs}}$ от $\Delta\lambda$, показанных на рис.1а. Все обозначения и нумерации совпадают с принятыми на рис.1а. с) То же, что и на рис.1а, но для различных вертикальных распределений Cr в атмосфере Сириуса. д) Ступенчатые распределения Cr в атмосфере Сириуса, использованные для построения зависимостей $I_{\text{syn}} - I_{\text{obs}}$ от $\Delta\lambda$, показанных на рис.1с. Все обозначения и нумерации совпадают с принятыми на рис.1а.

Учитывая вышеизложенные соображения, мы решили определять вертикальное распределение Cr в атмосферах CP звезд подбором такого распределения Cr, которое лучше всего воспроизводит наблюдаемые интенсивности линий этого химического элемента. Сравнение теоретических распределений с наблюдениями производилось графически, путем построения для каждого варианта вертикальной стратификации Cr зависимости разницы теоретических и наблюдаемых центральных интенсивностей $I_{\text{гн}} - I_{\text{об}}$ от $\Delta\lambda$ (см. рис.1а и с). При этом наилучшим считалось такое вертикальное распределение Cr, которое минимизировало а) наклон прямой, аппроксимирующей зависимость $I_{\text{гн}} - I_{\text{об}}$ от $\Delta\lambda$ и б) отклонение аппроксимирующей прямой от прямой $I_{\text{гн}} - I_{\text{об}} = 0$. Отметим, что использование для сравнения с наблюдениями только центральных интенсивностей линий Cr II не означает потери какой-либо информации, заключенной в профилях линий. Действительно, все исследованные линии хрома достаточно слабы в спектрах Ap и Am-звезд, поэтому вряд ли можно ожидать такого влияния стратификации на форму их профилей, которое выявлено для резонансной линии K Ca II [8,9], резонансной ультрафиолетовой линии Ga III λ 1495 Å [5] или сильных оптических линий He I [10].

Важно отметить, что теоретические центральные интенсивности $I_{\text{гн}}$ линий Cr II для каждого вертикального распределения этого химического элемента определялись нами с помощью расчета синтетических спектров в области линий Cr. Использование синтетических спектров позволило адекватно учесть эффекты блендирования линий Cr и уширения спектральных линий за счет вращения звезды и инструментального профиля. Синтетические спектры рассчитывались по программе В.В.Цымбала SYNTHMN, которая позволяет для любого химического элемента задавать изменяющееся с глубиной содержание и/или изменяющуюся с глубиной микротурбулентную скорость. Свертка синтетических спектров с профилем вращения и инструментальным профилем осуществлялась с помощью системы STARSP [11].

В качестве первого приближения мы использовали ступенчатое распределение Cr, определяемое тремя параметрами: содержанием Cr выше скачка ($\log(Cr/N)_1$), ниже скачка ($\log(Cr/N)_2$) и оптической (росселандовой) глубиной самого скачка ($\log\tau_1$). Для Ap-звезд содержание Cr в слоях атмосферы выше скачка было выбрано солнечным $\log(Cr/N)_1 = \log(Cr/N)_\odot = -6.30$ и варьировались положение скачка и его величина ($\Delta\log(Cr/N) = \log(Cr/N)_2 - \log(Cr/N)_\odot$), для Am-звезд мы, наоборот, фиксировали солнечное содержание Cr ниже скачка $\log(Cr/N)_2 = \log(Cr/N)_\odot$ и варьировали положение скачка и содержание Cr в верхних слоях атмосфер звезд. На данном этапе исследования микротурбулентная скорость считалась постоянной на всей протяженности звездной атмосферы и равной величине ξ_r , найденной в предыдущих исследованиях химического состава звезд (см., например, табл.2 в [1])

и табл.2 в [12]).

Во всех предыдущих исследованиях вертикальной стратификации химических элементов авторы использовали для анализа наблюдений подобные ступенчатые распределения (см., например, [5,9,13]). На настоящий момент качество наблюдательного материала, по-видимому, не позволяет выявить более сложные вертикальные распределения химических элементов. Кроме того, как показал Бабель [8], для Ар-звезды 53 Cam ступенчатые распределения очень хорошо описывают теоретические изменения содержания многих элементов с глубиной. Таким образом, можно надеяться, что ступенчатое распределение Cr является хорошим приближением реальной стратификации, по крайней мере, для случая Ар-звезд.

Далее в нашей работе приводятся конкретные результаты подбора оптимальных вертикальных распределений Cr в атмосферах Ар и Am-звезд.

2.1. *Ар-звезды.* Вертикальные распределения Cr подбирались для β CrB, HR 7575 и γ Equ - Ар-звезд, показавших самую сильную зависимость $\log(\text{Cr}/N)$ от $\Delta\lambda$. В табл.1 указаны параметры $\log(\text{Cr}/N)_1$, $\log(\text{Cr}/N)_2$ и $\log\tau_c$ оптимальных ступенчатых распределений Cr, полученных для трех Ар-звезд. Там же приводится оценка вероятных ошибок определения этих параметров. Рис.1а, б иллюстрирует процесс подбора вертикального распределения Cr для β CrB. На рис.1а показана линейная аппроксимация зависимости $I_{\text{кр}} - I_{\text{ли}}$ от

Таблица 1

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ Cr, ПОЛУЧЕННЫЕ ДЛЯ Ар И Am-ЗВЕЗД

Звезда	$\log(\text{Cr}/N)_1$	$\log\tau_c$	$\log(\text{Cr}/N)_2$
Ар-звезды			
HR 7575	$-6.30 \pm \begin{matrix} 0.70 \\ \infty \end{matrix}$	$-2.62 \pm \begin{matrix} 0.55 \\ 0.30 \end{matrix}$	$-4.15 \pm \begin{matrix} 0.16 \\ 0.22 \end{matrix}$
β CrB	$-6.30 \pm \begin{matrix} 0.60 \\ \infty \end{matrix}$	$-1.68 \pm \begin{matrix} 0.20 \\ 0.30 \end{matrix}$	$-4.19 \pm \begin{matrix} 0.15 \\ 0.15 \end{matrix}$
γ Equ	$-6.30 \pm \begin{matrix} 0.23 \\ 0.30 \end{matrix}$	$-0.31 \pm \begin{matrix} 0.18 \\ 0.15 \end{matrix}$	$-4.72 \pm \begin{matrix} 0.45 \\ 0.45 \end{matrix}$
Am-звезды			
α CMa	$-5.52 \pm \begin{matrix} 0.05 \\ 0.05 \end{matrix}$	$-1.18 \pm \begin{matrix} 0.18 \\ 0.20 \end{matrix}$	$-6.30 \pm \begin{matrix} 0.23 \\ 0.40 \end{matrix}$
σ Peg	$-5.21 \pm \begin{matrix} 0.25 \\ 0.39 \end{matrix}$	$-2.68 \pm \begin{matrix} 0.32 \\ 0.61 \end{matrix}$	$-6.30 \pm \begin{matrix} 0.20 \\ 0.38 \end{matrix}$
γ Gem	$-6.02 \pm \begin{matrix} 0.45 \\ 0.07 \end{matrix}$	$-2.31 \pm \begin{matrix} 0.57 \\ 1.54 \end{matrix}$	$-6.30 \pm \begin{matrix} 0.06 \\ 0.06 \end{matrix}$
32 Aqr	$-5.87 \pm \begin{matrix} 0.22 \\ 0.31 \end{matrix}$	$-2.06 \pm \begin{matrix} 0.63 \\ 1.31 \end{matrix}$	$-6.30 \pm \begin{matrix} 0.13 \\ 0.14 \end{matrix}$

Примечание. Символ ∞ означает, что, согласно принятой нами процедуре оценки ошибок параметров вертикального распределения Cr, этот химический элемент может полностью отсутствовать в верхних слоях атмосфер HR 7575 и β CrB.

$\Delta\lambda$ для различных вариантов вертикальной стратификации Cr, соответствующие вертикальные распределения этого химического элемента представлены на рис.1b. После определения оптимального варианта стратификации, мы фиксировали два параметра найденного ступенчатого распределения, а третий изменяли до тех пор, пока соответствующая линейная аппроксимация зависимости $I_{\text{пр}} - I_{\text{об}}$ линий Cr II от $\Delta\lambda$ оставалась в пределах 95%-го доверительного интервала линейной аппроксимации, соответствующей оптимальному вертикальному распределению. Максимально допустимые отклонения параметров $\log(\text{Cr}/\text{N})_1$, $\log(\text{Cr}/\text{N})_2$ и $\log t_0$ от их оптимальных значений и указаны в табл.1 как возможные ошибки определения этих параметров.

Интересно отметить очень малую чувствительность интенсивностей линий Cr II к содержанию Cr в верхних слоях атмосфер Ар-звезд. При этом,

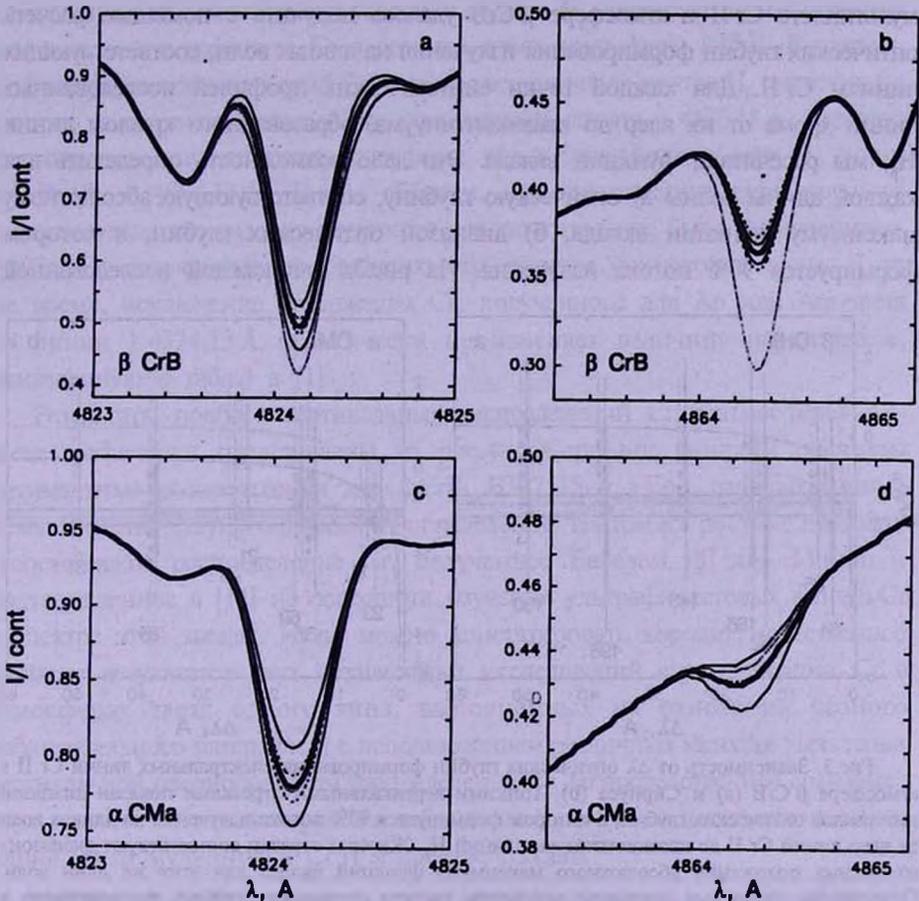


Рис.2a-d. Синтетические профили спектральных линий Cr II λ 4824.13 Å (a, c) и λ 4864.33 Å (b, d), рассчитанные с различными вертикальными распределениями Cr. Пунктирной линией обозначен спектр, соответствующий однородному распределению Cr с $\log(\text{Cr}/\text{N}) = \langle \log(\text{Cr}/\text{N}) \rangle$ (см. табл.1). Сплошная жирная линия - спектр при оптимальном вертикальном распределении Cr, сплошная тонкая линия - спектр при вариации на ± 0.3 dex величины скачка содержания Cr, штриховая линия - спектр при вариации на ± 0.3 dex оптической глубины скачка. Соответствующие ступенчатые распределения Cr показаны на рис.1b для β CrV и на рис.1d для Сириуса.

однако, максимально возможное содержание Cr выше скачка $\log(Cr/N)_1^{\max}$, несмотря на значительную ошибку определения $\log(Cr/N)$, все же на порядок меньше минимально возможного содержания Cr $\log(Cr/N)_1^{\min}$ в нижних слоях атмосфер Ar-звезд.

Рис.2а, б иллюстрирует чувствительность профилей линий Cr II $\lambda 4824.13$ и 4864.33 \AA к вариациям вертикального распределения Cr в атмосфере β CrV. Расчеты показывают, что линия $\lambda 4864.33 \text{ \AA}$ чувствительна прежде всего к положению скачка содержания Cr, тогда как линия $\lambda 4824.13 \text{ \AA}$ - к его величине. Интенсивность обеих спектральных линий при наличии стратификации Cr меньше, чем в предположении однородного распределения Cr с $\log(Cr/N) = \langle \log(Cr/N) \rangle$.

Дополнительную информацию об условиях формирования линий 30-го мультиплета Cr II в атмосфере β CrV удалось получить с помощью расчета оптических глубин формирования излучения на длинах волн, соответствующих линиям Cr II. Для каждой точки синтетических профилей исследованных линий хрома от их ядер до квазиконтинуума, образованного крылом линии H_β , мы рассчитали функции вклада. Это дало возможность определить для каждой длины волны а) оптическую глубину, соответствующую абсолютному максимуму функции вклада, б) диапазон оптических глубин, в котором формируется 90% потока излучения. На рис.3а для каждой исследованной

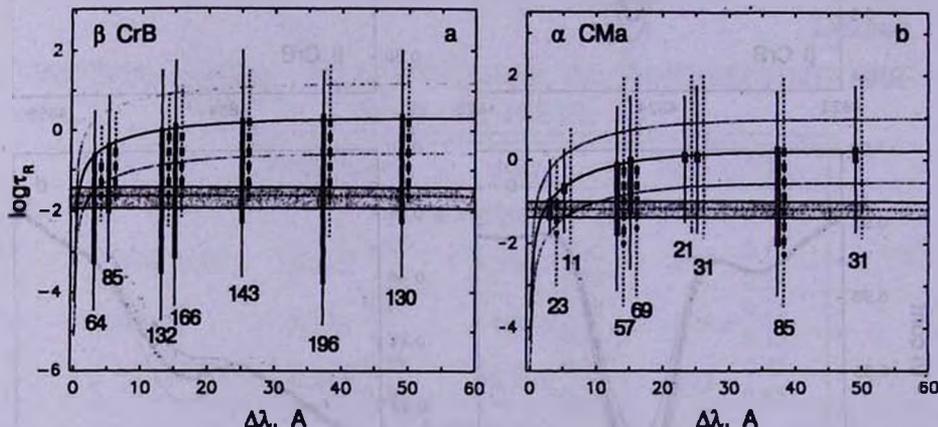


Рис.3. Зависимость от $\Delta\lambda$ оптических глубин формирования спектральных линий Cr II в атмосфере β CrV (а) и Сириуса (б). Тонкими вертикальными отрезками показан диапазон интервалов оптических глубин, в котором формируется 90% потока излучения на длинах волн от ядер линий Cr II до квазиконтинуума линий H_β . Жирные отрезки соответствуют диапазону изменения положения абсолютного максимума функций вклада для этих же длин волн. Сплошными отрезками показаны результаты расчета оптических глубин, выполненного в предположении однородности вертикального распределения Cr, штриховыми - с оптимальным ступенчатым распределением (для удобства представления сдвинуты на 1 А). Изменение с $\Delta\lambda$ максимума функции вклада для собственно водородной линии H_β показано сплошной кривой, пунктирные кривые соответствуют границам интервала формирования 90% потока излучения в линии H_β . Также указаны наблюдаемые эквивалентные ширины исследованных линий Cr. Горизонтальной штриховой линией показана оптимальная оптическая глубина скачка содержания Cr, заштрихованная область соответствует ошибке ее определения.

линии Cr II вертикальными отрезками показаны интервалы, в которые попадают вышеуказанные характеристики функций вклада. При этом сплошными отрезками обозначены результаты расчетов с однородным распределением Cr, а штриховыми - с оптимальным вариантом скачкообразного распределения, найденного выше.

Анализ рис.3а позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, благодаря чрезвычайно высокому среднему содержанию Cr в атмосфере β CrB и значительной интенсивности линий Cr II (о ней можно судить по величине W_{λ} , также указанной на рис.3а) все рассмотренные линии Cr формируются на достаточно большом интервале оптических глубин. Это подтверждает неадекватность использования какой-либо средней глубины формирования всей линии в целом. Во-вторых, благодаря своей силе даже линии Cr II, находящиеся на значительном удалении от ядра H_{β} , чувствительны к наличию относительного дефицита Cr в верхних слоях атмосферы β CrB. В-третьих, глубина формирования линий Cr II кроме расстояния до центра H_{β} существенно зависит и от силы линии. Так, спектральная линия $\lambda 4824.13 \text{ \AA}$ частично формируется в тех же слоях атмосферы, что и ближайшие к ядру H_{β} линии $\lambda 4856.19$ и 4864.33 \AA . Таким образом, при диагностике вертикального распределения химических элементов предпочтительнее было бы сравнивать $\log(\text{Cr}/N)$, полученные по спектральным линиям одинаковой силы. В то же время, исключение содержания Cr, полученного для Ar или Am-звезд по линии $\lambda 4824.13 \text{ \AA}$ практически не изменяет величину параметра a , приведенную в табл.4 в [1].

Результаты подбора вертикальных распределений Cr в атмосферах Ar-звезд графически представлены на рис.4а. Жирными линиями показаны оптимальные распределения для β CrB, HR 7575 и γ Equ, заштрихованные области соответствуют ошибкам их определения. На том же рисунке показано теоретическое распределение Cr, полученное Бабелем [8] для 53 Cam и подтвержденное в [14] на основании изучения ультрафиолетовых линий Cr в спектре этой звезды. Итак, можно констатировать хорошее качественное согласие результатов двух независимых исследований стратификации Cr в атмосферах звезд одного типа, выполненных на основании разного наблюдательного материала и с использованием различных методик выявления вертикальной неоднородности распределения Cr. Непосредственное сравнение двух методик возможно провести в будущем с помощью детального анализа линий 30-го мультиплета Cr II в спектре 53 Cam.

2.2. Am-звезды. Для расчета вертикального распределения Cr были выбраны Am-звезды Сириус, σ Peg, γ Gem и 32 Aqr. Эффективная температура этих металлических звезд полностью охватывает интервал T_{eff} для Am-звезд, исследованных в данной работе и ранее в [12]. В табл.1 и на рис.4б, с представлены результаты подбора оптимальных распределений

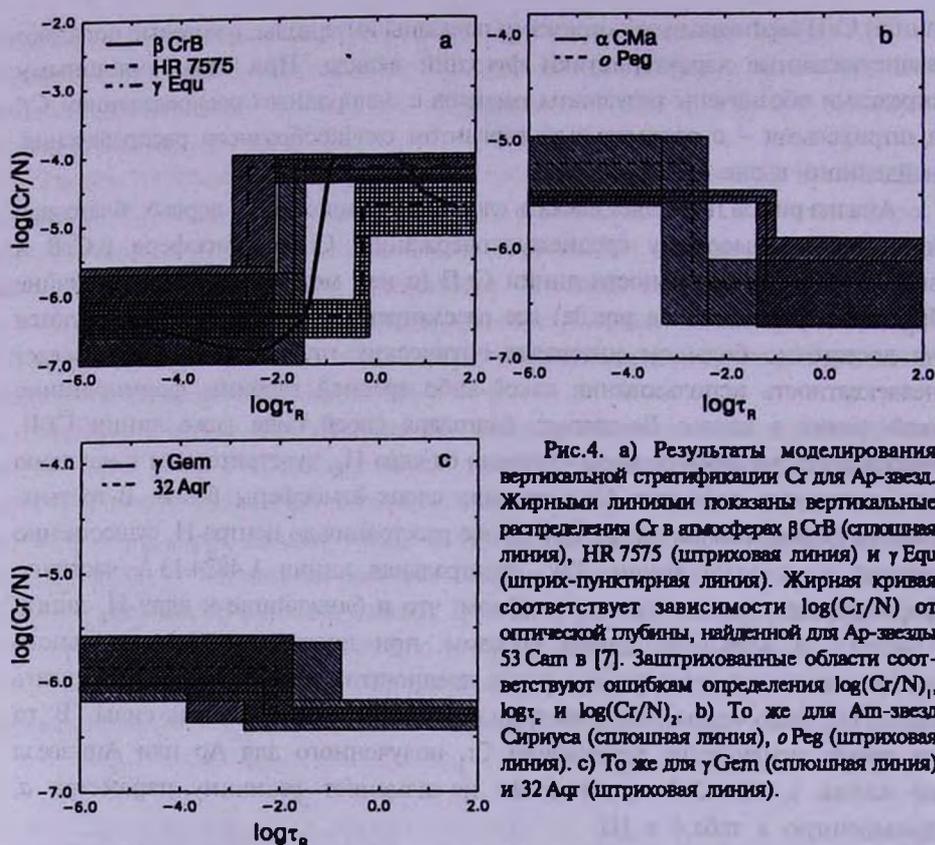


Рис.4. а) Результаты моделирования вертикальной стратификации Cr для Ar-звезд. Жирными линиями показаны вертикальные распределения Cr в атмосферах β CrB (сплошная линия), HR 7575 (штриховая линия) и γ Equ (штрих-пунктирная линия). Жирная кривая соответствует зависимости $\log(\text{Cr}/N)$ от оптической глубины, найденной для Ar-звезды 53 Cam в [7]. Заштрихованные области соответствуют ошибкам определения $\log(\text{Cr}/N)$, $\log \tau_r$ и $\log(\text{Cr}/N)$. б) То же для Ar-звезд Сириуса (сплошная линия), o Peg (штриховая линия). в) То же для γ Gem (сплошная линия) и 32 Aqr (штриховая линия).

Cr. Ошибки параметров этих ступенчатых вертикальных распределений определялись так же, как и для Ar-звезд.

Подбор вертикального распределения Cr иллюстрируется на примере Сириуса (рис.1с, d). В отличие от Ar-звезд, зависимость $I_{\text{syn}} - I_{\text{abs}}$ от $\Delta\lambda$ достаточно чувствительна к изменению каждого из трех параметров ступенчатого распределения Cr. Следует отметить, что результаты, приведенные в табл.1 для более холодных Am-звезд γ Gem и 32 Aqr, не являются вполне однозначными: наш наблюдательный материал допускает одновременное увеличение скачка содержания Cr и сдвиг его в более высокие атмосферные слои. Эта неоднозначность, возможно, является следствием недостаточного качества нашего наблюдательного материала и/или наличием более плавного хода $\log(\text{Cr}/N)$ с глубиной.

На рис.2с, d для Сириуса представлены профили линий Cr II $\lambda 4824.13$ и 4864.33 \AA , рассчитанные с различными вариантами вертикального распределения Cr. Обе спектральные линии чувствительны к изменению величины скачка содержания Cr, а линия $\lambda 4824.13 \text{ \AA}$ - также к вариации оптической глубины скачка.

Анализ глубин формирования линий Cr II выполнен для Сириуса на

рис.3б. В отличие от β CrV, у Сириуса наблюдается умеренный избыток содержания Cr, спектральные линии 30-го мультиплета не столь сильны и формируются в меньшем диапазоне оптических глубин. Однако так же, как и для β CrV, линия λ 4824.13 Å хотя и находится на достаточном удалении от ядра H_p , но при этом частично формируется достаточно высоко в атмосфере α CMa.

3. *Зависимость микротурбулентной скорости от оптической глубины.* При исследовании химического состава атмосфер ряда сверхгигантов классов A, F и G было показано, что микротурбулентная скорость ξ , растет с высотой в атмосфере от 1-2 км/с в нижних ее слоях до 10-20 км/с в верхних (см., например, работу [15], в которой зависимость $\xi(\tau)$ была получена для сверхгиганта γ Cyg). Гигас [16] в своем детальном не-ЛТР анализе линий Fe в спектре Веги также обнаружил зависимость $\xi(\tau)$. Согласно этому исследованию, ξ , меняется в атмосфере Веги от 1 до 2 км/с. В работе [17] для γ Gem оказалось необходимым ввести для ультрафиолетовых спектральных линий Ti, Fe и Ni на 0.6 км/с меньшую величину ξ_n , чем при анализе линий тех же элементов, находящихся в видимом диапазоне. Это также может служить основанием для предположения о переменности ξ , с глубиной в атмосфере A и F-звезд главной последовательности.

Возможно ли интерпретировать полученные нами зависимости $\log(Cr/N)$ от $\Delta\lambda$ с помощью введения для химически однородной звездной атмосферы такой переменной с глубиной микротурбулентной скорости? В рамках этой гипотезы наблюдаемый для Ar-звезд относительный дефицит Cr в поверхностных слоях объясняется уменьшением в этих слоях ξ , по сравнению с остальной атмосферой; для металлических звезд, наоборот, следует предположить увеличение ξ , в поверхностных атмосферных слоях.

Для проверки гипотезы о переменности с глубиной ξ , мы попытались подобрать для β CrV и Сириуса такие зависимости $\xi(\tau)$, которые ликвидировали бы ход $I_{\text{ггн}} - I_{\text{обз}}$ с $\Delta\lambda$. Для оценки приемлемости той или иной зависимости $\xi(\tau)$ использовалась та же методика, что и ранее для определения вертикальных распределений Cr. Несмотря на множество испробованных зависимостей $\xi(\tau)$, нам не удалось подобрать такого хода микротурбулентной скорости с глубиной, который бы объяснил наблюдаемые относительные интенсивности линий Cr II в спектрах β CrV и Сириуса также хорошо, как и гипотеза о вертикальной стратификации Cr. Детальные расчеты показали, что введение переменной ξ , практически не оказывает влияния на слабые линии λ 4856.19 и 4864.33 Å, которые расположены ближе всего к ядру H_p . В то же время, интенсивность сильных линий (λ 4824.13, 4848.24 и 4876.40 Å) меняется, и в результате разброс содержаний Cr, определенных по сильным и слабым линиям, значительно увеличивается. Зависимость $I_{\text{ггн}} - I_{\text{обз}}$ от W_λ становится доминирующей и не позволяет ликвидировать зависимость $I_{\text{ггн}} - I_{\text{обз}}$ от $\Delta\lambda$. На

рис.5а и с представлена аппроксимация зависимостей $I_{\text{пл}} - I_{\text{ат}}$ от $\Delta\lambda$ для нескольких "неудачных" вариантов хода ξ_r с глубиной в атмосферах β CrV и Сириуса. Соответствующие зависимости $\xi_r(\tau)$ показаны на рис.5б и д.

Итак, гипотеза о зависимости ξ_r от оптической глубины не может объяснить наблюдаемые относительные интенсивности линий Cr II. Следует добавить, что традиционная методика определения ξ_r , требующая отсутствия хода $\log(EI/N)$ с W_λ , вряд ли является корректной при наличии вертикальной стратификации данного химического элемента. Действительно, сильные спектральные линии чувствительны к содержанию химического элемента в широком диапазоне оптических глубин, а слабые - только к содержанию химического элемента вблизи области формирования континуума. По этой

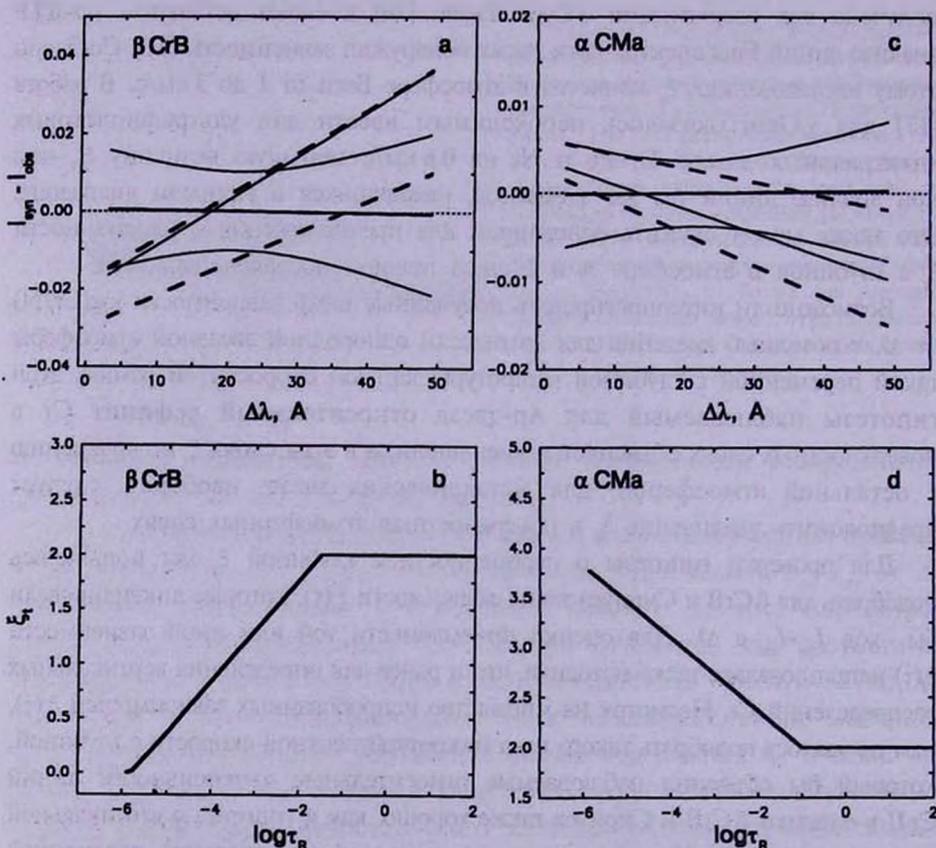


Рис. 5. а) Линейная аппроксимация зависимостей $I_{\text{пл}} - I_{\text{ат}}$ от $\Delta\lambda$ для различных $\xi_r(\tau)$ в атмосфере β CrV. Сплошная тонкая линия соответствует однородному распределению с $\log(\text{Cr}/N) = \langle \log(\text{Cr}/N) \rangle$ (см., табл.1), жирная сплошная линия - оптимальному ступенчатому распределению Cr, жирные штриховые линии - однородному распределению Cr с $\log(\text{Cr}/N) = -5.65$ и -5.85 и с зависимостью $\xi_r(\tau)$, изображенной на рис.5б. Сплошными тонкими кривыми показан 95%-ый доверительный интервал линейной аппроксимации зависимости $I_{\text{пл}} - I_{\text{ат}}$ от $\Delta\lambda$ для оптимального варианта стратификации Cr. б) Один из вариантов зависимости $\xi_r(\tau)$ в атмосфере β CrV. в) То же, что и на рис.5а, но для Сириуса. Жирными штриховыми линиями показана линейная аппроксимация зависимостей $I_{\text{пл}} - I_{\text{ат}}$ от $\Delta\lambda$, рассчитанных при однородном распределении Cr с $\log(\text{Cr}/N) = -4.65$ и -4.85 и с зависимостью $\xi_r(\tau)$, изображенной на рис.5д. д) То же, что и на рис.5б, но для Сириуса.

причине при наличии вертикальной стратификации можно ожидать зависимости содержания элемента от силы линий, никак не связанной с неправильным выбором ξ_r .

Что касается Ar-звезд, то для них ситуация усложняется наличием сильных магнитных полей. В этом случае следует ожидать дополнительной стабилизации звездной атмосферы и малости истинной величины ξ_r . Микротурбулентные скорости, вводимые при анализе химических составов магнитных Ar-звезд, скорее всего являются эффективным учетом магнитного уширения спектральных линий. Таким образом, в случае магнитных Ar-звезд зависимость $\log(Cr/N)$ от $\Delta\lambda$ может быть, в принципе, объяснена изменением с глубиной напряженности магнитного поля при отсутствии стратификации Cr. В работе Романюка [18] была предпринята попытка определения вертикального градиента магнитного поля с помощью сравнительного анализа спектральных линий, расположенных до и после бальмеровского скачка. В этом исследовании для $\alpha^2 CVn$ было найдено увеличение напряженности поля с глубиной, а для βCrV - однородное магнитное поле. Окончательный ответ на вопрос о влиянии вертикального градиента магнитного поля на относительные интенсивности линий Cr II может дать детальное моделирование профилей этих спектральных линий с учетом их уширения в магнитном поле.

4. *Основные результаты.* В заключение обобщим основные результаты нашего исследования вертикальной стратификации Cr в атмосферах CP-звезд.

1. Для нескольких Ar и Am-звезд с помощью моделирования профилей линий Cr II подобраны вертикальные распределения хрома. Эти расчеты подтвердили корректность интерпретации зависимости $\log(Cr/N)$ от $\Delta\lambda$ на основании гипотезы о наличии вертикального градиента исследованного химического элемента. В случае Ar-звезд полученные вертикальные распределения согласуются с результатами исследований [8,14] линий Cr в спектре Ar-звезды 53 Cam.

2. С помощью исследования функций вклада проведен детальный анализ условий формирования линий Cr II в атмосферах βCrV и Сириуса.

3. Показано, что альтернативная гипотеза о переменности с глубиной микротурбулентной скорости ξ_r не способна объяснить наблюдаемые относительные интенсивности линий Cr II.

¹Крымская астрофизическая обсерватория, Украина

²Симферопольский государственный университет, Украина

INVESTIGATION OF STRATIFICATION OF VERTICAL DISTRIBUTION OF CHROMIUM IN THE ATMOSPHERES OF CP STARS. II. MODEL ANALYSIS

I.S.SAVANOV¹, O.P.KOCHUKHOV^{1,2}, V.V.TSYMBAL¹

Detailed modelling of Cr II line profiles has been performed in order to obtain vertical distributions of this element in the atmospheres of several Ap and Am-stars. Our results for Ap-stars are in agreement with vertical Cr distribution calculated by Babel [8,14] for Ap-star 53 Cam. It is shown that our observational material cannot be interpreted using hypothesis of depth-dependent microturbulent velocity.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.С.Саванов, О.П.Кочухов, В.В.Цымбал, *Астрофизика*, **44**, 79, 2000.
2. I.I.Romanyuk, G.P.Topil'skaya, in "Stellar Magnetic Fields". Eds. Yu.V.Glagolevsky, I.I.Romanyuk; М., Nauka, 170, 1997.
3. В.Л.Хохлова, Г.П.Топильская, *Письма в Астрон. ж.*, **18**, 150, 1992.
4. J.Zverko, J.Ziznovskij, in "Chemically Peculiar and Magnetic Stars". Eds. J.Zverko, J.Ziznovskij, Astron. Inst., Slovak Academy of Sci., Tatranska Lomnica, 110, 1994.
5. K.C.Smith, *Astron. Astrophys.*, **297**, 237, 1995.
6. P.Magain, *Astron. Astrophys.*, **163**, 135, 1986.
7. Д.Ф.Грей, *Наблюдения и анализ звездных фотосфер*, Мир, М., 1980.
8. J.Babel, *Astron. Astrophys.*, **258**, 449, 1992.
9. J.Babel, *Astron. Astrophys.*, **283**, 189, 1994.
10. K.Hunger, in "Upper Main Sequence Stars with Anomalous Abundances". Eds. C.R.Cowley, M.M.Dworetzky, C.Megessier, IAU Colloq. No. 90, D.Reidel, 257, 1986.
11. V.V.Tsybal, in "Model Atmospheres and Stellar Spectra". Eds S.J.Adelman, F.Kupka, W.W.Weiss, ASP Conf. Ser., **108**, 198, 1996.
12. И.С.Саванов, О.П.Кочухов, *Письма в Астрон. ж.*, **24**, 601, 1998.
13. K.C.Smith, M.M.Dworetzky, *Astron. Astrophys.*, **274**, 335, 1993.
14. J.Babel, T.Lanz, *Astron. Astrophys.*, **263**, 232, 1992.
15. Л.С.Любимков, З.А.Самедов, *Астрофизика*, **32**, 49, 1990.
16. D.Gigas, *Astron. Astrophys.*, **165**, 170, 1986.
17. M.Nishimura, K.Sadakane, *Publ. Astron. Soc. Jap.*, **46**, 349, 1994.
18. И.И.Романюк, *Письма в Астрон. ж.*, **10**, 443, 1984.

УДК: 524.337

НОВЫЕ H_α ЗВЕЗДЫ, HNL-ОБЪЕКТЫ И КОМЕТАРНАЯ ТУМАННОСТЬ

Н.Д.МЕЛИКЯН, А.А.КАРАПЕТЯН

Поступила 13 сентября 2000

Принята к печати 15 января 2001

Приводятся предварительные результаты наблюдений одной области с известными H_α звездами. Наблюдения проводились на 2.6-м телескопе Бюраканской астрофизической обсерватории им. В.А.Амбарцумяна в августе 2000г. Во время наблюдений был использован IFS(Integral Field Spectrograph) "VAGR". Размеры изучаемой области равны приблизительно 6×11 угл. мин. В этой области помимо уже известных двух, обнаружено 5 новых H_α звезд и 5 HNL объектов. Одна из этих звезд совпадает с известным объектом RNO 127 [2]. Обнаружены одна инфракрасная и одна кометарная туманности. Наличие такого количества peculiarных объектов в области указанных размеров позволяет предположить, что эта область является одной из самых молодых областей звездообразования.

1. *Введение.* Хорошо известно, что наличие H_α объектов является отличным индикатором областей звездообразования. Этот же факт служит стимулом проведения многочисленных H_α обзоров неба, выполненных с помощью широкоугольных телескопов, оснащенных объективными призмами. Один из таких обзоров выполнен в шести избранных областях темных туманностей на $40''$ телескопе системы Шмидта Бюраканской обсерватории с применением 4° объективной призмы. В результате было обнаружено более 200 новых H_α объектов [1,3-6]. Наблюдения проводились в разные эпохи(1979, 1985, 1989), что позволяет не только обнаружить новые эмиссионные объекты, но и следить за ходом изменений яркости звезды и интенсивности эмиссионной линии в течение времени. Результаты наблюдений показали, что у более 10% обнаруженных эмиссионных звезд имела место переменность интенсивности эмиссионной линии [1,3-6]. Уже первые статистические исследования с этой целью указывают на переменность эмиссии в течение нескольких дней [7]. Приблизительно к такому заключению привели и спектральные наблюдения Л.В.Мирзояна и др. [8].

Наличие эмиссионной линии H_α , переменность ее интенсивности и оценки абсолютной яркости обнаруженных нами эмиссионных звезд позволяют предположить, что подавляющее большинство этих объектов являются звездами типа T Тау, Ae/Be звездами Херbiga и вспыхивающими звездами - типичными представителями звездных ассоциаций [1,3-6]. Следовательно, изучение каждого эмиссионного объекта представляет особый интерес. Для более подробного исследования обнаруженных нами новых эмиссионных звезд была составлена программа спектральных наблюдений на 2.6-м телескопе

БАО. Были выбраны по одной области в Цефее и в Лебеде таким образом, что в каждую область попали, по крайней мере, 2 эмиссионные звезды. Результаты спектральных наблюдений в области Цефея были отрицательными: из двух уже известных эмиссионных звезд ни одна не показала эмиссию. Такой результат можно объяснить только переменным характером H_{α} эмиссии, что неоднократно уже было зафиксировано [1,3-8]. Эти результаты еще будут обсуждаться. Очень плодотворными оказались итоги наблюдений, проведенных в области Лебеда. В настоящей работе обсуждаются предварительные данные наблюдений этой области.

2. Наблюдения. Настоящие наблюдения проводились в августе 2000г на 2.6-м телескопе. При наблюдениях был использован Integral Field Spectrograph (IFS) "VAGR", сконструированный и изготовленный в Бюраканской обсерватории по аналогии с известным спектрографом "TIGER" [9]. В качестве светоприемника применен 1060 x 1028 pix CCD фирмы "Thomson". Этот спектрограф со средним спектральным разрешением используется, в основном, для наблюдений протяженных астрономических объектов. Были применены узкополосные светофильтры H_{α} и [SII] с полуширинами 75Å вокруг указанных эмиссионных линий и фильтр I, охватывающий близкую инфракрасную область - 7000-9000Å [10]. При спектральных наблюдениях использована красная призма, охватывающая спектральную область 5500-7500Å со спектральным разрешением 2.7Å/pix. Координаты центра области следующие: $\alpha_{(2000)} = 21^{\text{h}}00^{\text{m}}32^{\text{s}}$, $\delta_{(2000)} = 52^{\circ}28'24''$, с угловыми размерами 6 x 11 угл. мин. В табл.1 приводятся данные о наблюдательном материале. В соответствующих столбцах таблицы приводятся дата наблюдений, начало наблюдений по UT, использованный светофильтр, и экспозиция в минутах. В табл.1 звездочкой отмечены наблюдения, выполненные со смещенными

Таблица 1

ДАННЫЕ О НАБЛЮДАТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛЕ

Дата	Время(UT)	Фильтр	Экспоз. (мин)
08.08.2000	19 ^h 25 ^m	H_{α} + grism	10
08.08.2000	20 ^h 00 ^m	H_{α} + grism	10
08.08.2000	20 ^h 15 ^m	I(infr)	3
08.08.2000	20 ^h 20 ^m	H_{α} + grism	20
08.08.2000	20 ^h 42 ^m	H_{α}	10
08.08.2000	20 ^h 55 ^m	H_{α}	10
10.08.2000	21 ^h 53 ^m	[SII]	20
10.08.2000	22 ^h 15 ^m	[SII]	20
10.08.2000*	22 ^h 43 ^m	I	2
10.08.2000*	22 ^h 54 ^m	[SII]	20
24.08.2000	21 ^h 20 ^m	[SII]+grism	15
24.08.2000	21 ^h 35 ^m	[SII]+grism	15
24.08.2000	21 ^h 50 ^m	I(infr)	15

координатами центра области ($\alpha_{(2000)} = 21^{\text{h}}00^{\text{m}}35^{\text{s}}$, $\delta_{(2000)} = 52^{\circ}33'21''$).

3. *Результаты наблюдений.* В исследуемой области были известны две звезды с H_{α} эмиссией [1]. Следует отметить, что одна из этих звезд (No 20 [1]) показала переменную эмиссию. У этой звезды очень сильная эмиссия была зарегистрирована на пластинке, снятой 23.08.1979, и эмиссия отсутствовала на пластинках, снятых 30.07.1979 и 23.08.1985. Вторая звезда (No 21) на всех трех фотографиях показывает одинаково сильную эмиссию [1].

На рис.1 приводится прямое изображение области в фильтре H_{α} . На рисунке стрелками показаны все эмиссионные звезды, данные о которых приводятся в табл.2, где в соответствующих столбцах даны: номер звезды,

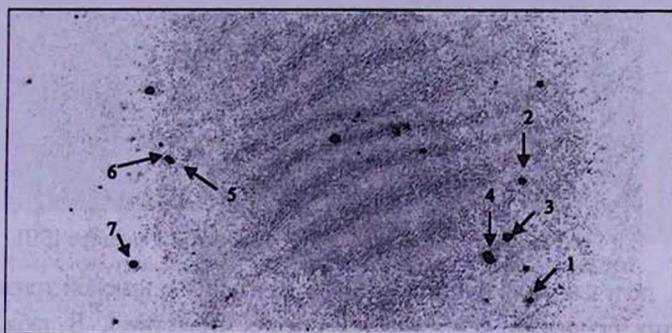


Рис.1. Карта отождествления обнаруженных новых эмиссионных звезд в фильтре H_{α} .

координаты, относительная интенсивность линии H_{α} (S - сильная эмиссия), и результаты отождествления с известными объектами. В таблице не приводятся звездные величины обнаруженных объектов из-за отсутствия фотометрических стандартов в указанной узкой полосе спектра. Но, как хорошо видно на рис.1, яркости звезд в наблюдаемой спектральной области не сильно отличаются: самая слабая из них звезда No 1 всего приблизительно на $0^{\text{m}}.7$ слабее звезды No 3, эмиссия которой была обнаружена ранее. Следовательно, отсутствие эмиссии у пяти новых эмиссионных звезд на снимках, полученных ранее с объективной призмой [1], по всей вероятности, также обусловлено только переменным

Таблица 2

ДАННЫЕ О НОВЫХ H_{α} ЗВЕЗДАХ

No	$\alpha_{(2000)}$	$\delta_{(2000)}$	$I_{H_{\alpha}}$	Отожд.
1	21 ^h 00 ^m 17 ^s .0	52° 26' 22"	S	-
2	21 00 17.4	52 28 24	S	-
3	21 00 19.2	52 27 28	S	No20[1]
4	21 00 21.6	52 27 09	S	No21[1]
5	21 00 58.3	52 28 54	S	-
6	21 00 58.6	52 28 56	S	-
7	21 01 02.8	52 27 08	S	-

характером интенсивности линии H_{α} .

На рис.2 приводится крупномасштабное изображение центра изучаемой области в фильтре [SII]. Использованный узкополосный фильтр охватывает только спектральную область линии [SII] 6717/31A, очень характерную как для планетарных туманностей, так и для объектов Хербига-Аро. Как хорошо видно на рисунке, сильная эмиссионная туманность простирается между двумя звездами на расстоянии чуть больше одной минуты. На фоне эмиссионной туманности четко выделяются, по крайней мере, 5 отдельных стущений. Эти стущения четко видны также на

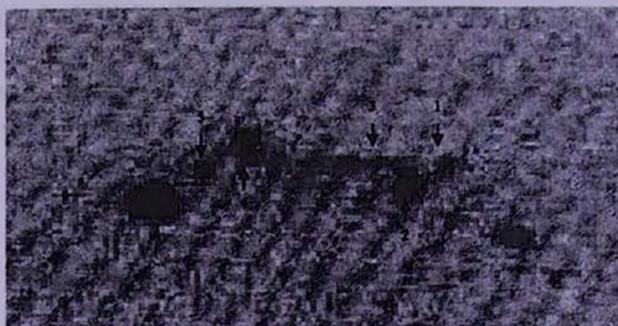


Рис.2. Карта отождествления NHL объектов в фильтре [SII].

спектрах, полученных с фильтром [SII] в сочетании с красной призмой. Отметим, что у этих стущений непрерывный спектр отсутствует. В табл.3 приводятся координаты этих стущений. Точно такая же картина видна и на снимках, полученных с фильтром H_{α} , лишь с той разницей, что туманность и стущения в этих лучах слабее. Интересно отметить, что как указанная туманность, так и стущения в ней отсутствуют на изображениях, полученных в инфракрасных (I) лучах, тогда как

Таблица 3

КООРДИНАТЫ ОТДЕЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА РИС.2

No	$\alpha_{(2000)}$	$\delta_{(2000)}$
1	21 ^h 00 ^m 30 ^s .7	52°29' 24"
2	21 00 31.8	52 29 17
3	21 00 32.6	52 29 25
4	21 00 36.3	52 29 36
5	21 00 37.7	52 29 24

в этих лучах, на расстоянии приблизительно 0.9 минуты от первой туманности, выделяется другая туманность (см. рис.3). Интересно, что компактные образования No 2 и No 4 (рис.2) в свою очередь имеют сложную структуру. По-видимому, первая из них состоит из пяти более компактных образований, а вторая - из трех. В обоих случаях они, по-видимому представляют собой динамически неустойчивые системы, напоминающие системы типа Трапеции [11]. С такой же уверенностью можно всю систему стущений считать динамически неустойчивой.

На расстоянии приблизительно 3 угл. мин к северу от инфракрасной

туманности находится, по-видимому, новая кометообразная туманность (см. рис.4). В близкой инфракрасной области спектра (7000-9000Å) туманность видна в виде хвоста, состоящего из двух отдельных выбросов, простирающихся на расстоянии 20 угл. сек. На красных картах Паломарского обзора неба морфология туманности остается неизменной. Наблюдения в фильтре [SII] показывают, что один из выбросов исчезает, а другой, сильно слабеет. Отметим, что ширина фильтра [SII] равна 75Å, и слабый след одного из выбросов, по-видимому, обусловлен излучением туманности в этой узкой полосе спектра.



Рис.3. Инфракрасная туманность.



Рис.4. Кометарная туманность.

4. *Обсуждение.* Таким образом, на основе результатов наших спектральных наблюдений и полученных прямых изображений с узкополосными фильтрами можно сказать следующее:

а) Помимо уже известных двух эмиссионных объектов в этой области обнаружены еще 5 новых. Плотность эмиссионных звезд в этой области почти на два порядка превышает поверхностную плотность эмиссионных звезд вблизи ассоциации Сер OB2, которая считалась самой богатой согласно нашим наблюдениям [6]. Четыре эмиссионные звезды составляют одну компактную группу на площади с размерами 2' x 0.8'. Все 6 расстояний между этими четырьмя звездами одного порядка величины, и если считать, что все эти звезды находятся на одинаковом расстоянии от нас, то можно предположить, что они составляют динамически неустойчивую систему типа Трапеции [11]. Звезда No 4 (табл.2) отождествляется с инфракрасным источником IRAS PSC 20590 + 5215 [12].

б) Обнаружена красная туманность, простирающаяся на расстояние около одной минуты, на фоне которой четко выделяются пять компактных образований. Туманность отсутствует на снимках, полученных в инфракрасных лучах. Только на красных картах Паломарского обзора неба первые 3 объекта видны в виде предельно слабых звезд. Излучение в спектральных линиях H_α и [SII], отсутствие непрерывного спектра в областях этих линий, их морфология на прямых снимках позволяют допустить, что эти образования, по всей вероятности, являются объектами Хербига-Аро. В свою очередь,

компактные образования No 2 и No 4 (см. рис.2) имеют сложную структуру. Каждая из них имеет размеры порядка $10''$ и состоит из отдельных сгущений. В каталоге объектов Хербига-Аро [13] всего три объекта (HN 380, 381, 382) находятся вблизи нашей области, но исследования показали, что ни один из них не совпадает с нашими объектами. Они также отсутствуют в последних списках А.Гюльбудагына [14,15]. Одно из сгущений (No 2) по координатам совпадает с объектом RNO 127 [2], известным как очень слабая звезда.

в) Зарегистрирована инфракрасная туманность на расстоянии около одной минуты от красной туманности, протяженность которой меньше одной минуты. Туманность отсутствует на снимках, полученных в областях H_α и [SII], а на красных картах Паломарского обзора неба она видна как предельно слабая звезда.

г) Обнаружена новая кометарная туманность, морфология которой в фильтрах I и [SII] совершенно разная. В каталоге кометарных туманностей [16] этот объект отсутствует. Согласно критериям классификации кометарных туманностей [16] ее можно отнести к типу Ia. Туманность отождествляется с инфракрасным источником IRAS PSC 20590 + 5221 [12].

Таким образом, несмотря на то, что полученный наблюдательный материал нуждается в детальной обработке и анализе, что будет сделано позже, вышеперечисленные результаты говорят о том, что в данном случае мы имеем дело с новой областью звездообразования.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
им. В.А.Амбарцумяна, Армения

NEW H_α STARS, HHL OBJECTS AND A COMETARY NEBULA

N.D.MELIKIAN, A.A.KARAPETIAN

The preliminary results of observations of an area with known H_α stars are presented. The observations were carried out with the 2.6-m telescope of the Byurakan Astrophysical Observatory in August 2000. During the observations IFS (Integral Field Spectrograph) "VAGR" was used. The sizes of the investigated area are approximately equal to 6×11 arcmin. In this region besides already known two emission stars 5 new H_α stars and 5 HHL objects are found, one of which is identified with RNO 127 [2]. A new cometary nebula as well as a new infrared nebula are found in this region. The existence of so many peculiar objects shows, that this area is one of the youngest star forming regions.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Н.Д.Меликян, А.А.Карапетян, Л.Г.Ахвердян, А.Ц.Карапетян*, *Астрофизика*, 39, 217, 1996.
2. *M.Cohen*, *Astron. J.*, 85, 29, 1980.
3. *N.D.Melikian, V.S.Shevchenko, S.Yu.Melnikov*, *IBVS*, N3037, 1987.
4. *Н.Д.Меликян, В.С.Шевченко*, *Астрофизика*, 32, 169, 1990.
5. *Н.Д.Меликян*, *Астрофизика*, 37, 219, 1994.
6. *Н.Д.Меликян, А.А.Карапетян*, *Астрофизика*, 39, 57, 1996.
7. *L.G.Balazs, N.D.Melikuyn, S.Yu.Melnikov, V.S.Shevchenko*, *IBVS*, N3099, 1987.
8. *L.V.Mirzoyan, L.G.Balazs, A.Fronto, A.T.Garibjanyan, V.V.Hambaryan, M.Kun, J.Kelemen, N.D.Melikuyn*, *Астрофизика*, 37, 425, 1994.
9. *Т.А.Мовсессян, J.-L.Gach, F.Zhamkotsin, J.Boulesteix*, *Joint European and National Astronomical Meeting "JENAM-2000", 9th European and 5th Euro-Asian Astronomical Society Conference, May 29-June 3, Moscow, Russia, 2000, Abstracts, p.179.*
10. *Т.А.Мовсессян*, Частное сообщение.
11. *В.А.Амбарцумян*, *Научные труды*, т.2, с.41, изд. АН Арм. ССР, ред. В.В.Соболев, Ереван, 1960.
12. *IRAS Point Sources Catalog, Joint IRAS Science Working Group, Washington, D.C., 1986.*
13. *B.Reipurth*, *A General Catalogue of Herbig-Haro Objects, electronically published, 1999.*
14. *А.Л.Гюльбудагян*, *Астрофизика*, 41, 585, 1998.
15. *А.Л.Гюльбудагян*, док. диссертация, частное сообщение, 2000.
16. *Э.С.Парсямян, В.М.Петросян*, *Сообщ. Бюраканск. обс.*, 51, 3, 1979.

УДК: 524.316

ОПТИЧЕСКИЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ IRAS НА ОСНОВЕ НИЗКОДИСПЕРСИОННЫХ СПЕКТРОВ FBS. ЗВЕЗДЫ. V

А.М.МИКАЕЛЯН, К.С.ГИГОЯН

Поступила 17 мая 2000

Принята к печати 15 января 2001

Приводится пятый список точечных источников из каталога IRAS PSC, оптически отождествленных со звёздами поздних спектральных классов. Список содержит данные о 75 объектах. Отождествления проводились на основе Оцифрованного обзора неба (DSS), Первого Бюраканского обзора (FBS), голубых и красных карт Паломарского обзора неба (POSS) и инфракрасных потоков на длинах волн 12, 25, 60 и 100 мкм в области $+73^\circ \leq \delta \leq +80^\circ$, $03^h30^m \leq \alpha \leq 18^h30^m$ и $+80^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$, $00^m00^s \leq \alpha \leq 20^m00^s$. Из 99 объектов, приведенных в IRAS PSC как неотожествленные источники инфракрасного излучения, 24 ассоциированы с известными звёздами существующих каталогов, а 75 источников оставались неизвестными в оптическом диапазоне. Определены оптические координаты, их отклонения от ИК-координат, звёздные величины V , показатели цвета CI и предварительные спектральные подклассы. Объекты имеют оптические звёздные величины в пределах $6^m.5-17^m.2$. Для 69 новых объектов приводятся карты отождествления из DSS.

1. *Введение.* В работах [1,2 и ссылки в ней] опубликованы данные о 212 звездах поздних спектральных классов, отождествленных с точечными источниками IRAS PSC [3] с помощью низкодисперсионных спектров FBS [4] и голубых и красных изображений POSS на высоких галактических широтах. Как уже указывалось в работах [1,5], аналогичные работы проводятся на основе прямых оптических изображений, соответствующих ИК-источникам участков неба, и, в основном, основываются на потоках на длинах волн 12, 25, 60 и 100 мкм, т. е. по распределению объектов на IRAS [12-25]/[25-60] диаграмме по "оккупационным" зонам [6-8].

Данная программа, основанная на отождествлениях ИК-источников с помощью низкодисперсионных спектров FBS, имеет определенные преимущества, так как спектры позволяют опознать вероятных оптических двойников ИК-источников с большой уверенностью. В работе [5] подробно описана данная программа, рассчитанная на отождествление и исследование всех источников IRAS PSC в области $+61^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$ на высоких галактических широтах ($|b| \geq 15^\circ$), где проводился обзор FBS.

2. *Наблюдательный материал.* Работа проводилась в области FBS $+73^\circ \leq \delta \leq +80^\circ$, $03^h30^m \leq \alpha \leq 18^h30^m$ и $+80^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$, $00^m00^s \leq \alpha \leq 20^m00^s$ с площадью в 630 кв. гр. Для проведения данной работы использовались

ИК-потоки из IRAS PSC [3] на длинах волн 12, 25, 60 и 100 мкм для источников соответствующей области, изображения DSS [9] и низкодисперсионные пластинки FBS (Kodak II-F, II-AF, IIa-F), отснятые Маркаряном, Липовецким и Степаняном в 1967-1980гг [4]. В данной области в каталоге IRAS PSC имеется 135 неотожествленных источников с ИК-потоками, характерными для звезд. После 1989г. из этих 135 источников было отождествлено 60, в том числе 27 звезд были отобраны в ходе обзора звезд поздних спектральных классов FBS [10,11]. 75 источников оставались неотожествленными, их нам удалось отождествить с помощью низкодисперсионных спектров FBS со звездами поздних подклассов K и разных подклассов M.

3. Отождествления объектов. После оптических отождествлений была проведена кросс-идентификация исследуемых IRAS-источников с помощью базы данных SIMBAD (Set of Identifications, Measurements and Bibliography of Astronomical Data) с использованием удаленного доступа к астрономическим базам данных в Страсбурге по Интернету (<http://simbad.u-strasbg.fr/>). При этом оптическая позиция (определенная с помощью DSS) отождествленного источника была выбрана как центр поиска с радиусом в 3 минуты дуги (это связано с тем, что в известных каталогах точность координат невысокая).

Выяснилось, что из 75 звезд 6 являются известными объектами каталогов AGK [12], ОКПЗ [13] и HD [14]. 69 из 75 звезд оказались ранее неизвестными.

4. Список объектов. В табл.1 приводится список 75 оптически отождествленных ИК-источников. В последовательных столбцах табл. 1 приводятся: 1 - номер источника BIS (Byurakan-IRAS stars), отождествленного со звездой; 2 - IRAS обозначение источника; 3 и 4 - оптические координаты для эпохи 2000г.; 5 и 6 - отклонения оптических координат от координат IRAS PSC ($\Delta\alpha = \alpha_{\text{opt}} - \alpha_{\text{IRAS}}$ и $\Delta\delta = \delta_{\text{opt}} - \delta_{\text{IRAS}}$); 7 - видимая звездная величина V , определенная с POSS на основании калибровки "диаметр - звездная величина" [15]; 8 - показатель цвета CI , определенный тем же способом; 9 - приблизительный спектральный подкласс объекта (оцененный нами по характеру распределения энергии в низкодисперсионном спектре FBS); 10 - источник литературы, где приводятся оптические объекты, ассоциированные с ИК-источниками.

После таблицы приведены альтернативные названия объектов и комментарии к некоторым из них. В конце работы приведены карты отождествления из DSS для 69 новых объектов.

5. Заключение. В данной работе оптически отождествлены 75 источников из каталога IRAS PSC со звездами поздних спектральных классов (11 - типа K, 54 - типа M и 10 - без определения спектрального класса). 6 из них известны из оптических каталогов, однако не были

СПИСОК ОТОЖДЕСТВЛЕННЫХ IRAS ИСТОЧНИКОВ

No BIS	IRAS название	Оптические координаты		$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	m_v	CI	Сп. класс	Литера- тура
		α_{2000}	δ_{2000}						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
213	03314+7529	03 ^h 37 ^m 31 ^s .9	75° 39' 02"	1.4'	15"	11.7	1.8	?	
214	03315+7340	03 37 05.3	73 50 20	-6.4	4	11.9	1.7	?	
215	03328+7717	03 39 27.0	77 26 55	-4.1	7	13.8	1.9	?	
216	03353+8722	03 58 52.9	87 32 05	0.5	-20	17.2	2.7	M4-5	
217	03587+7315	03 04 28.1	73 23 51	-4.9	10	10.1	2.6	M2-3	
218	03598+7438	03 05 56.8	74 46 52	-2.4	11	9.6	3.0	M6-7	
219	04148+7504	04 21 12.2	75 11 22	0.5	19	11.6	1.2	M2-3	
220	04203+7415	04 26 29.7	74 22 08	-5.0	10	9.7	1.7	M3-4	
221	04205+7812	04 28 12.6	78 19 46	9.0	26	9.6	1.6	K5-8	
222	04210+7517	04 29 15.0	75 24 30	-1.0	20	16.0	2.0	?	
223	04292+7439	04 35 32.5	74 45 38	-5.1	11	9.7	1.7	M3-4	
224	04423+7314	04 48 24.7	73 20 01	-0.2	18	11.5	1.3	?	
225	04461+7537	04 52 54.9	75 42 45	-0.4	14	6.5	1.0	M4-5	[12]
226	04463+7900	04 54 26.3	79 05 44	-2.0	20	14.5	2.0	M6-7	
227	04464+7343	04 52 40.3	73 48 44	-0.7	12	11.6	1.2	M2-3	
228	04486+7831	04 56 37.0	78 36 11	3.5	20	8.8	1.4	K8-9	
229	04490+7818	04 56 42.6	78 23 09	-7.0	15	8.8	1.4	K5-8	
230	04539+7524	05 00 40.9	75 28 42	0.1	16	13.0	1.5	M5-6	
231	05156+7433	05 22 07.2	74 36 44	-4.6	15	10.0	2.3	M5-6	
232	05233+7528	05 30 09.9	75 30 49	0.0	17	14.0	1.9	M4-5	
233	05349+7439	05 41 31.2	74 41 24	-3.4	12	8.7	2.7	M1-2	
234	05349+7930	05 43 31.9	79 32 22	-1.5	21	10.7	2.0	M1-2	
235	05368+7539	05 43 45.6	75 40 51	-1.7	14	11.9	1.7	M4-5	
236	05404+7546	05 47 21.4	75 47 27	-3.3	12	12.2	2.2	M5-6	
237	05428+7316	05 49 01.2	73 17 33	-3.3	11	9.6	3.0	M4-5	
238	05468+7300	05 53 05.2	73 01 14	-0.1	12	9.2	2.2	M0-1	
239	05493+7903	05 57 40.3	79 03 33	0.6	18	10.7	2.0	M1-2	
240	05519+7817	05 59 53.5	78 17 22	-1.7	15	8.6	1.9	M3-4	
241	06094+7418	06 15 55.0	74 18 00	-1.7	14	12.8	1.6	M5-6	
242	06096+7416	06 16 12.5	74 15 56	5.0	17	9.2	2.2	M3-4	
243	06145+8005	06 23 26.6	80 04 17	0.7	-22	9.1	2.0	M7-8	[13]
244	06206+7657	06 28 02.5	76 55 32	3.3	21	10.7	2.0	M7-8	
245	06227+8156	06 33 10.7	81 54 48	4.2	24	14.0	2.0	M5-6	
246	06537+7322	06 59 54.8	73 18 48	1.6	13	9.2	2.2	M4-5	
247	06561+7539	06 02 27.2	75 54 51	1.0	12	12.0	1.7	M6-7	
248	06563+7354	06 02 39.5	73 49 52	-0.4	13	10.1	2.6	M6-7	
249	07002+7506	07 06 50.9	75 02 17	1.7	15	12.3	1.5	M6-7	
250	07429+7929	07 50 54.5	79 21 35	-0.6	16	11.9	1.7	M5-6	
251	07483+8023	07 56 26.3	80 15 53	-8.0	33	6.6	1.0	?	[12,14]
252	08129+7753	08 19 47.9	77 44 32	5.0	10	11.7	1.9	M7-8	
253	08320+7305	08 37 28.2	72 55 19	-8.0	4	8.3	1.9	M5-6	
254	08455+7356	08 50 59.8	73 45 08	5.0	8	7.0	1.9	?	[12]
255	09312+7844	09 37 06.7	78 31 17	7.0	6	10.1	2.6	K5-8	
256	10288+7815	10 28 17.4	77 41 00	1.0	11	9.6	1.6	K5-8	
257	11076+7536	11 11 08.0	75 20 29	4.0	2	10.7	2.0	M6-7	

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
258	11594+7309	12 01 56.4	72 53 27	-0.3	11	9.2	2.2	M5-6	[12, 14]
259	12010+8157	12 03 21.9	81 41 22	-5.1	5	6.7	0.7	?	
260	12198+7909	12 21 51.6	78 53 25	0.6	9	10.7	2.0	K5-8	
261	12397+7549	12 41 32.4	75 32 52	2.2	-10	10.7	2.0	M5-6	
262	13082+7856	13 09 09.1	78 40 04	-1.1	7	10.7	2.0	M2-3	
263	13113+7745	13 12 20.9	77 29 59	0.9	3	9.2	2.0	K5-8	
264	13410+8000	13 40 59.4	79 45 33	0.0	-10	14.0	2.0	M6-7	
265	13508+7313	13 51 47.1	72 57 58	9.0	90	9.8	1.6	M5-6	
266	14134+7943	14 12 39.4	79 28 57	-2.1	-8	10.3	1.2	K5-8	
267	14366+8058	14 34 51.4	80 45 30	-4.0	3	13.3	1.1	M3-4	
268	14564+7617	14 55 53.4	76 05 37	-1.1	9	9.7	1.7	M5-6	
269	15021+7500	15 01 48.7	74 49 54	-0.7	50	9.2	2.2	?	
270	15024+7536	15 01 57.8	75 24 17	-0.9	-1	10.1	2.6	M5-6	
271	15152+7303	15 15 02.1	72 52 04	-2.3	50	11.2	1.6	M5-6	
272	15343+7700	15 33 02.4	76 49 50	-5.0	20	9.7	1.7	M2-3	
273	15546+7750	15 52 50.7	77 41 25	-1.5	2	8.7	2.7	M3-4	
274	16026+8012	15 59 41.8	80 04 01	-2.3	-2	10.7	2.0	M5-6	
275	16550+7935	16 51 49.7	79 30 35	-2.1	9	10.3	1.2	M3-4	
276	16582+7851	16 55 27.5	78 47 30	-0.5	15	10.7	2.0	M5-6	
277	17000+8235	16 54 37.3	82 31 23	3.2	20	9.2	2.2	M3-4	
278	17011+8746	16 57 04.5	87 41 11	-2.2	-33	12.6	1.2	M6-7	
279	17072+7929	17 03 53.6	79 25 36	-5.1	2	11.5	1.4	M5-6	
280	17167+7444	17 15 20.4	74 41 30	-0.6	11	10.3	1.2	M6-7	
281	17343+7601	17 32 30.5	75 59 20	-0.1	5	10.7	1.9	M6-7	
282	17349+7927	17 31 21.1	79 25 56	-5.0	25	9.2	2.0	K8-9	
283	17447+7837	17 41 46.8	78 36 34	-0.3	10	10.7	2.0	K5-8	
284	17512+7734	17 48 51.1	77 33 52	2.8	6	10.7	2.0	K9-M2	
285	18039+8302	17 57 23.2	83 02 36	-2.0	13	11.9	1.7	M5-6	
286	18269+7929	18 23 31.8	79 31 22	3.0	5	10.7	2.0	?	
287	19230+8848	18 31 45.8	88 52 43	-14.3	-4	11.2	1.6	M6-7	

Краткие замечания к отдельным объектам и другие названия.

- 03314+7529 Определить спектральный класс невозможно, т.к. отсутствует соответствующая пластинка FBS.
- 03315+7340
- 03328+7717
- 04210+7517 Довольно слабый объект, спектральную принадлежность трудно определить. Судя по показателю цвета, вероятно, звезда позднего подкласса M.
- 04423+7314 Вероятно, звезда раннего подкласса M.
- 04461+7537 =AG+75 191 [12] =BD+75 193. Согласно SIMBAD: $B=8.0$, $V=7.1$, спектральный класс - G5.
- 05233+7528 Вероятно, двойная система.
- 06145+8005 =YZ Cam [13]. Согласно SIMBAD: $V=12.00$, спектральный класс - M8.
- 07483+8023 =HD 62613 [14] =AG +80 163 [12]. Согласно SIMBAD: $B=7.29$, $V=6.56$, спектральный класс - G8Vpec. Очень яркий объект, на пластинке FBS спектральный класс не удастся определить.
- 08455+7356 =SAO 6661 =AG +73 236 [12] =SSC 08456+7355 [14]. Согласно SIMBAD: $B=9.1$, $V=7.6$, спектральный класс - K0.
- 12010+8157 =HD 104698 [14] =AG +81 357 [12]. Согласно SIMBAD: $B=8.4$, $V=7.5$. Очень яркий объект, на пластинке FBS спектральный класс не удастся определить.

15021+7500	Яркий объект. Спектр не удается определить. Судя по показателю цвета, вероятно, звезда класса М.
17000+8235	=AG +82 494 [12]. Согласно SIMBAD: $B = 12.1$, $V = 10.6$.
17072+7929	=SSC 17070+7929 [14].
17343+7601	=SSC 17342+7601 [14].
18269+7929	Определить спектральный класс невозможно, т.к. отсутствует соответствующая пластинка FBS. Согласно показателю цвета, вероятно, звезда класса М.

ассоциированы с соответствующими ИК-источниками. Отождествление с помощью низкодисперсионных спектров FBS позволило с большой уверенностью непосредственно отобрать соответствующий оптический объект в области ИК-источника.

Данной работой завершается программа отождествлений ИК-источников, в результате которой составлена выборка IRAS-звезд BIS в области $+61^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$, состоящая из 287 объектов. На следующей стадии эти объекты будут исследованы для выяснения их физической природы и обнаружения звезд с широкими околосозвездными оболочками, а также углеродных звезд, переменных, двойных и других интересных типов. Уже начаты спектральные наблюдения этих звезд на 2.6-м телескопе Бюраканской астрофизической обсерватории.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
им. В.А.Амбарцумяна, Армения

OPTICAL IDENTIFICATIONS OF THE IRAS POINT SOURCES ON THE BASE OF THE FBS LOW-DISPERSION SPECTRA. STARS. V

A.M.MICKAELIAN, K.S.GIGOYAN

The fifth list of point sources from the IRAS PSC catalog identified with late-type stars is presented. The list contains data on 75 objects. The identifications have been carried out on the basis of the Digital Sky Survey (DSS), First Byurakan Survey (FBS), blue and red charts of the Palomar Observatory Sky Survey (POSS), and infrared fluxes in 12, 25, 60 and 100 μm bands in the region $+73^\circ \leq \delta \leq +80^\circ$, $03^{\text{h}}30^{\text{m}} \leq \alpha \leq 18^{\text{h}}30^{\text{m}}$ and $+80^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$, $00^{\text{h}}00^{\text{m}} \leq \alpha \leq 20^{\text{h}}00^{\text{m}}$. 24 out of 99 objects, given in the IRAS PSC as unidentified sources of infrared radiation, are associated with known stars of existing catalogs, and 75 sources remained unknown in the optical range. Optical coordinates, their deviations from the IR ones, V magnitudes, CI color indices and preliminary spectral subtypes are determined for the identified

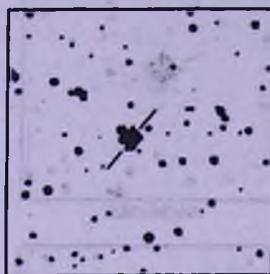
stars. The objects have optical magnitudes in the range $6^m.5-17^m.2$. Finding charts from DSS are given for 69 new objects.

ЛИТЕРАТУРА

1. *А.М.Микаелян*, *Астрофизика*, **40**, 5, 1997.
2. *К.С.Гигоян, А.М.Микаелян*, *Астрофизика*, **43**, 361, 2000.
3. IRAS Point Source Catalog, Version 2. On The Optical Disk. "Selected Astronomical Catalogs". Supplied by NASA, 1, 1989.
4. *В.Е.Маркарян, В.А.Липоветски, Я.А.Степанян, Л.К.Ерастова, А.И.Шаповалова*, *Comm. Spec. Astrophys. Observ.*, **62**, 5, 1989.
5. *А.М.Микаелян*, *Астрофизика*, **38**, 625, 1995.
6. *W.E.C.J. van der Veen, H.J.Habing*, *Astron. Astrophys.*, **194**, 125, 1988.
7. *H.J.Walker, M.Cohen*, *Astron. J.*, **95**, 1801, 1988.
8. *K.V.Lyengar, S.K.Ghash, T.N.Rengarajan et al.*, *Astron. Astrophys.*, **221**, 250, 1989.
9. *T. McGlynn, N.E.White, K.Scollick*, *ASP Conf. Ser.*, **61**, 34, 1994.
10. *Г.В.Абрамян, К.С.Гигоян*, *Астрофизика*, **38**, 211, 1995.
11. *Г.В.Абрамян, К.С.Гигоян, Г.М.Шахбазян*, *Астрофизика*, **38**, 351, 1995.
12. *Astronomical Gesellschaft Katalog, Hamburger Sternwarte*, 1975.
13. *Н.Холопов и др.*, *Общий Каталог переменных звезд. т.1*, Наука, М., 1985.
14. *A.G.Cannon, E.C.Pickering*, *Ann. Astron. Observ. Harv. Coll.*, **91**, 1918.
15. *I.R.King, M.J.Raff*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **89**, 120, 1977.
16. IRAS Serendipitous Source Catalog, On The Optical Disk. "Selected Astronomical Catalogs". Supplied by NASA, vol. 1, 1989.

КАРТЫ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ IRAS-ИСТОЧНИКОВ

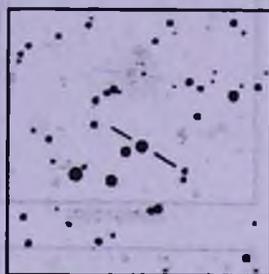
(Север сверху, восток слева, размеры 5' x 5')



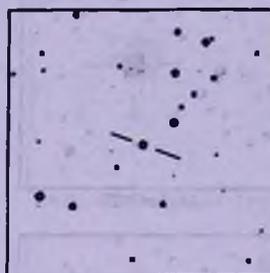
03314+7529



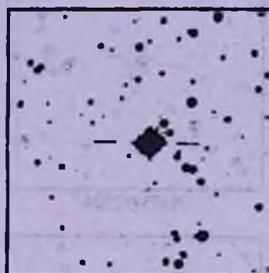
03315+7340



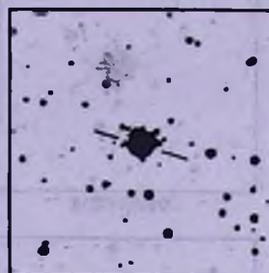
03328+7717



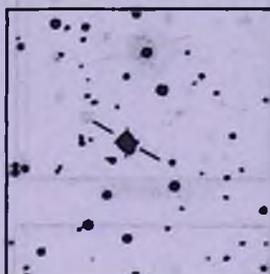
03353+8722



03587+7315



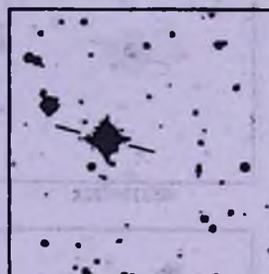
03598+7438



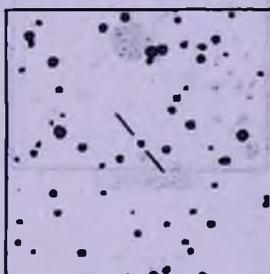
04148+7504



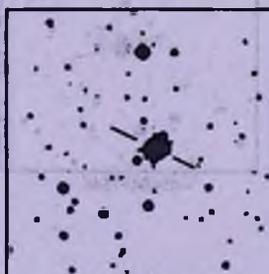
04203+7415



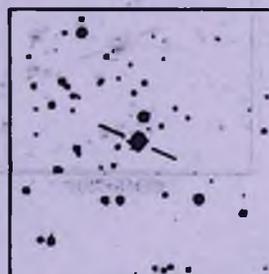
04205+7812



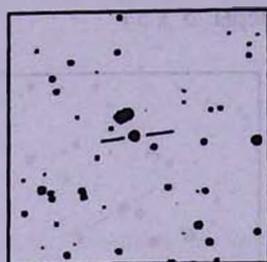
04210+7517



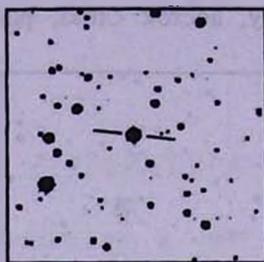
04292+7439



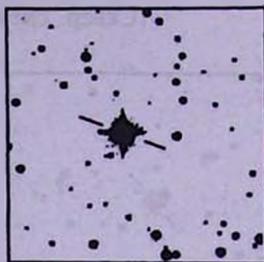
04423+7314



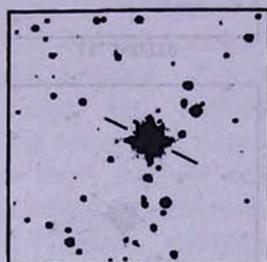
04463+7900



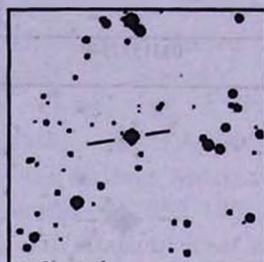
04464+7343



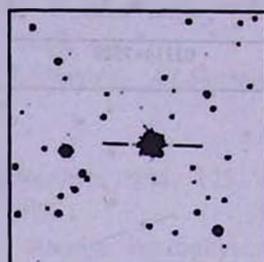
04486+7831



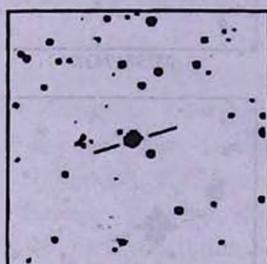
04490+7818



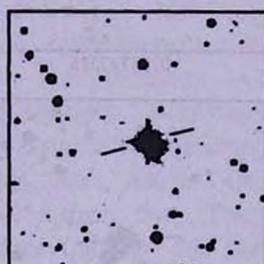
04539+7524



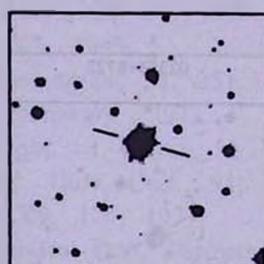
05156+7433



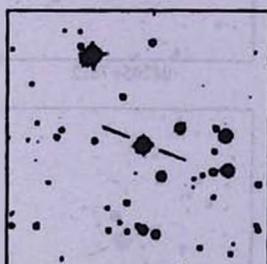
05233+7528



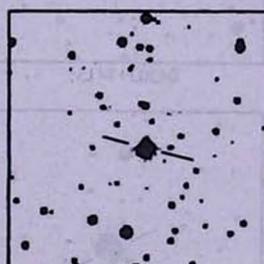
05349+7439



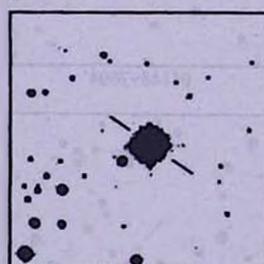
05349+7930



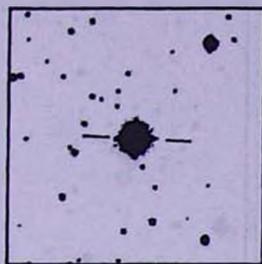
05368+7539



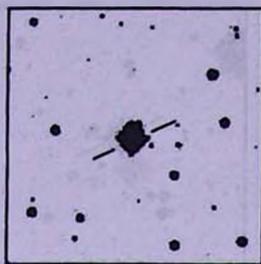
05404+7546



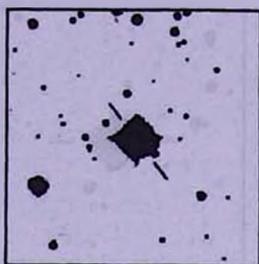
05428+7316



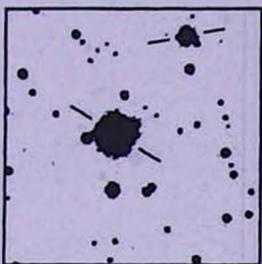
05468+7300



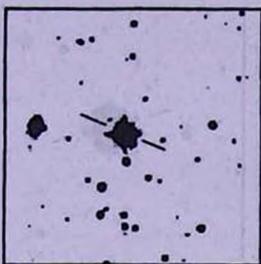
05493+7903



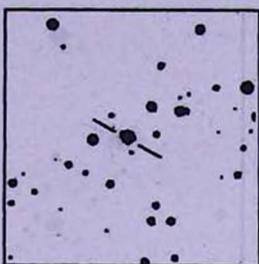
05519+7817



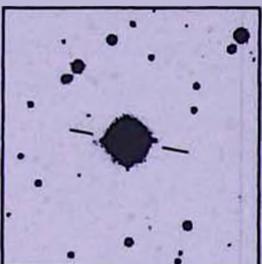
06096+7416 06094+7418



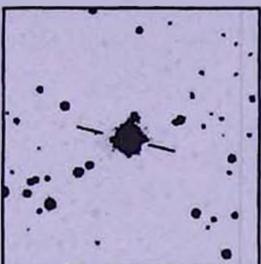
06206+7657



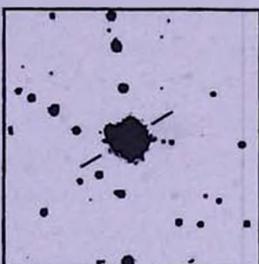
06227+8156



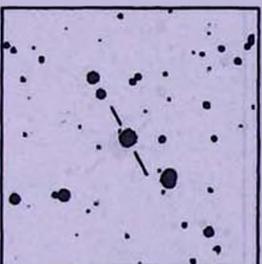
06537+7322



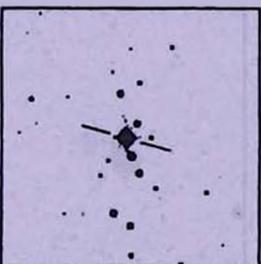
06561+7539



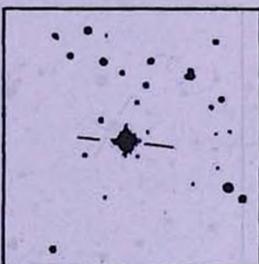
06563+7354



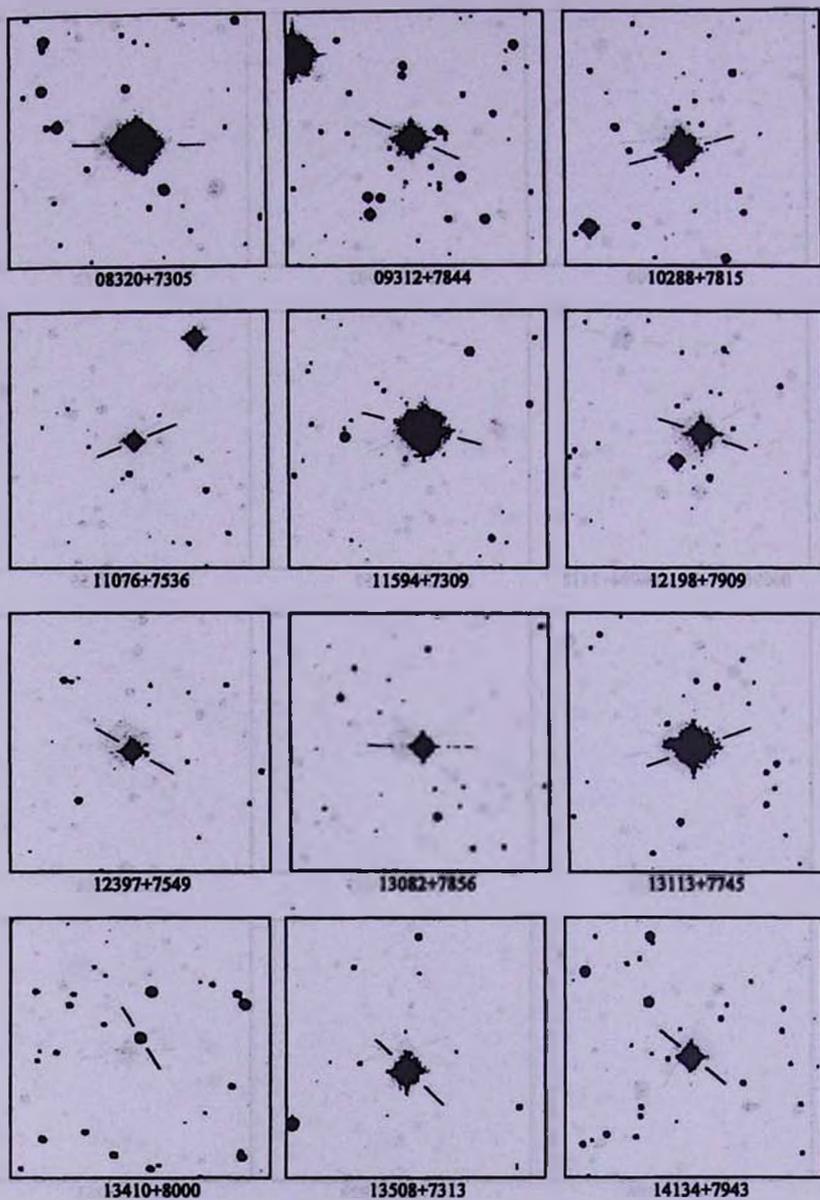
07002+7506

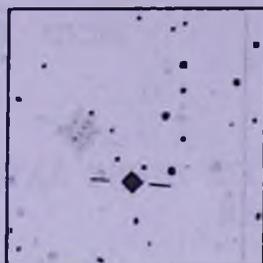


07429+7929



08129+7753

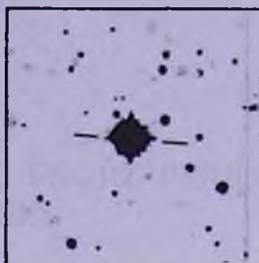




15152+7303



15343+7700



15546+7750



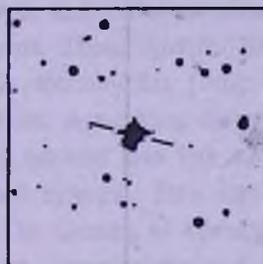
16550+7935



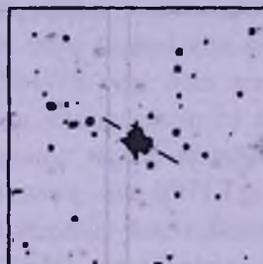
16582+7851



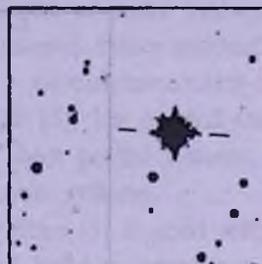
17072+7929



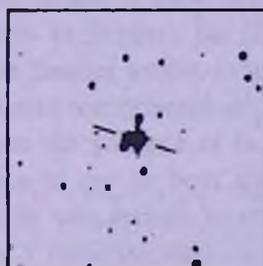
17167+7444



17343+7601



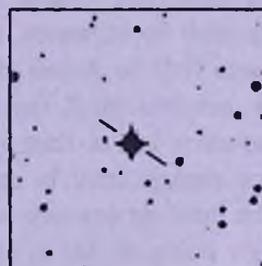
17349+7927



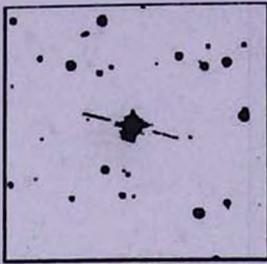
17447+7837



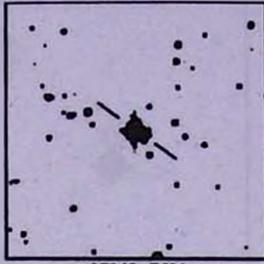
17512+7734



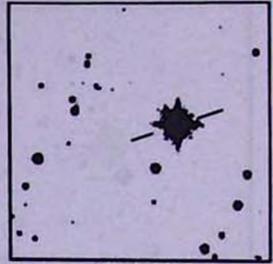
18269+7929



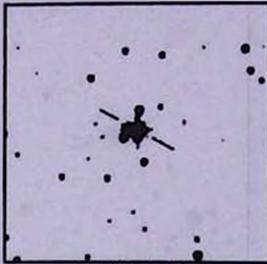
17167+7444



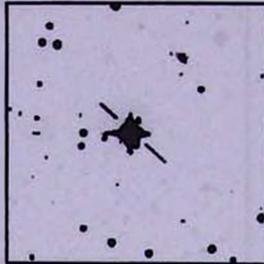
17343+7601



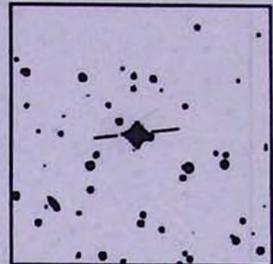
17349+7927



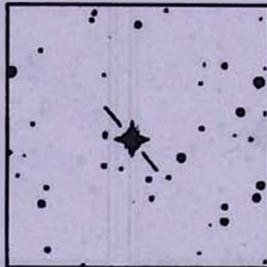
17447+7837



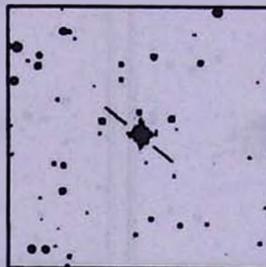
17512+7734



18039+8302



18269+7929



19230+8848

УДК: 524.382

STAR SPOTS STUDIES FOR THREE SHORT PERIOD
RS CV_n-TYPE BINARIES

H.M.K.Al-Naimiy

Received 8 December 2000

Accepted 15 January 2001

The light curve analysis for three short-period RS CV_n-type binaries were performed, using: a) Fourier analysis techniques for the light curve changes in frequency domain. b) Photometric curve fit by means of numerical quadratures to develop theoretical light curves appropriate to RS CV_n stars. The two methods were applied to the systems ER Vul, BH Vir, and UV Psc. Improved physical and geometrical parameters are found by taking the average of the results measured by the above two methods.

1. *Introduction.* RS CV_n type binaries are a special group of variable stars, with specific characteristics. They typically have highly variable light curves, and differ drastically, when it obtained in two or more consecutive seasons. These binaries have been studied and developed rather gradually by many astronomers [1-8]. RS CV_n type stars are a chromospherically-active binaries. A working definition was set down by Hall [5]. He divided the RS CV_n systems into five subgroups: regular systems, short period systems, long period systems, flare star systems and V471 Tau type systems.

The Catalog of Chromospherically Active Binary Stars [9] is good reference for the elements study of RS CV_n type binaries and listed an important short period subset of these binaries. Hall [5], Oliver [10] studied more than twenty systems in Popper's list [2] and proposed the main properties of these group. These binaries exhibit various peculiarities, such as H and K of CaII emission, indicating the presence of active chromospheres and soft X-ray emission, which suggest the presence of large scale solar-type activity such as star spots on the surface of one or both components. The light curves of these systems show a peculiar semiperiodic structure outside of eclipse. This structure has been referred to as a distortion wave in the light curve. The source of the distortion was due to circumstellar material around the hotter component [11]. Hall concluded that these mechanisms is due to "Starspots" phenomenon, which, in analogy to sunspots are large, cool active regions on the photosphere [12].

Generally, RS CV_n show all the characteristic features indicative of chromospheric activity, but while the qualitative interpretations of the observations in terms of the solar stellar connection and magnetic activity cycles are well described [13].

The starspot model was originally proposed by Kron [14] and refined by Hall [4,15,5], Oliver [10], Eaton and Hall [16]. The light curve does not give information on the latitude of the spots, or spot groups directly, and even detailed light curve modeling may not give the latitude uniquely. But information on longitude can be obtained from the light curve. Good observations and studies for the CF Tuc (RS CVn type binary) has been made by Budding & Zeilik [17]. A comparative study of the X-ray for RS CVn versus Algol-type binaries has been made by Singh et al [18]. They compiled a list of 59 RS CVn and 29 Algol-type binaries with well-known orbital parameters and observed with ROSAT PSPC detector. They tried to detect the influence of mass transfer on the X-ray emission properties of these two types of active binaries.

In the present work we have studied three RS CVn binaries by two method of light curve analysis, taking most of the involved phenomena in account, such as limb darkening, gravity darkening, reflection, geometrical distortions, tidal effects and atmospheric eclipses. The fundamental problem is to extract the information of the systems from the light curve. The standard methods are well proven by many authors [19-33].

The three RS CVn type binaries under investigations are:

1.1. *UV Psc*. The eclipsing variable UV Psc (BD + 6°189) was first noticed as a variable at Bamberg in 1957. Hut (1959) has published the first light curve based on 348 plates. It was included in the short period group of RS CVn-type binaries [34,8]. The classification of the primary component of UV Psc was G2V [35,3].

Several observers have observed the system photoelectrically. Sadik [36] stated that the irregularities in the light curves were caused by locally hotter, rather than cooler region on one of the components. Busso et al [37] discussed the presence of cycles of variability in the system on the basis of the analysis of the photometric observations. Sarma et al [38] and Antonopoulou [39] suggested that the hotter component in the system could be an intrinsic variable. A rough migration period was given to be (1.5-2) years for the minimum of the wave-like distortion [40,41]. Akan [42] investigated the amplitude variation of the wave and its migration.

1.2. *BH Vir* (BD - 0°2769, HD 121909) is an eclipsing system with orbital period less than one day. The system consist of G0V primary star and G2V secondary star [43]. Tessevich [44] gave the light elements as:

$$\text{Min.I} = \text{J.D.}24312421.393 + 0^d.81679 \text{ E.}$$

The eclipses regions of the light curve were observed photoelectrically by Huruhata and Nakamura [45] and Szczepenwska [46]. Kitamura et al [47] obtained a complete light curves using *B* and *V* filters. Koch [48] reported observations in *UBV* filters and two narrow band filters. A large light variations outside eclipses was detected, besides, it was considered the occurrence of intrinsic variation in the system. The system observed also by Sadik [49],

and Hoffmann [50]. They associated the system with the short period group of RS CVn type.

1.3. *ER Vul* (HD 200391, BD + 27°3952, SAO 089396) is a short period system ($P=0^d.69809510$). The system was discovered spectroscopically by Northcott and Bakos [51]. The light curve changes and CaII H and K emission were studied by Hall [5]. The irregular light curve variations were identified by Al-Naimiy [52,53]. The time of minima have been monitored by Akan et al [54].

Photometric observations by Zeilik et al [55] indicated variations on the scale of one week and observations of color with orbital plane. Starspot analysis by Zeilik and Budding [56] indicates that two spots are needed to adequately describe the light variations and observations of Akan et al [54] indicate a photometric wave migration rate on the order of 8 months.

2. *Methods of Analysis.* The analysis of eclipsing binaries is not easy task due to the complexity of the phenomena involved. Many authors developed the attempt to solve the light curve in different procedures. In present paper we used two techniques of analysis:

2.1. *Fouries analysis of the light changes in frequency domain.* This techniques for the derivation of the geometrical elements depends on the equations of the moments A_{2m} [20,57] in the form

$$A_{2m} = a_{2m} - x_j - b_{2m} \tag{1}$$

where

$$x_j = -m! \sum_{j=1}^n \frac{\left(\frac{1}{2}j+1\right)}{\left(\frac{1}{2}j+m+1\right)} k_j, \tag{2}$$

a_{2m} is the area subtended by the observed light curve in $(1 - \sin^2 m\theta)$ coordinates and given by:

$$a_{2m} = \int_0^{\pi/2} \left[I\left(\frac{\pi}{2}\right) - I(\theta) \right] d(\sin^2 m\theta), \tag{3}$$

$I\left(\frac{\pi}{2}\right)$ denotes the maximum brightness of the system at the time of quadratures, a_{2m} are calculated from photometric observations for both minima with different colors.

The constants k_j in equation (2) evaluated by appropriate modulation of the unclipsed part of the light curve by the use of

$$k_j = \int_{-\alpha}^{+\alpha} \left[I\left(\frac{\pi}{2}\right) - I(\theta) \right] p^{(a,n)}(\cos\theta) d(\cos\theta), \tag{4}$$

j denotes the degree of the respective harmonic factoring k_p , n is the total number of such harmonics included in simultaneous solutions, and $\alpha = \cos\theta_1$; θ_1 is the angle of first contact which was estimated for ER Vul, UV Psc and BV

Vir to be around 30°. For the range 30° ≤ θ ≤ 150°, a = √3/2 and n = 4, the modulation Legendre polynomials P_j^(a,n)(cosθ) are given in a paper of Kopal [58]. After calculating k, the weighted sum x_i of equation (2) were formed. The photometric perturbations b_{2m} have been ignored.

The determination of the zeroth moment A₀(m = 0) depends on the light of the system (λ = I(θ)) at the moment of conjunctions of the respective minimum such that:

$$A_0 = 1 - \lambda = L_1 \alpha_0(a, c_0), \tag{5}$$

where α₀(a, c₀) is the maximum obscuration of the star undergoing eclipse of luminosity L₁, depending on the ratios:

$$a = r_1 / (r_1 + r_2) \tag{6}$$

$$c_0 = \cos i / (r_1 + r_2). \tag{7}$$

Therefore, the following ratios can be formed [59]

$$g_{2m}(a, c_0) = (A_{2m})^2 / (A_{2m-2} A_{2m+2}). \tag{8}$$

Therefore, for m = 0, 1, 2, 3 we form the combination of

$$g_2(a, c_0) = A_2^2 / A_0 A_4 \quad \text{and} \quad g_4(a, c_0) = A_4^2 / A_2 A_6.$$

The empirical values of g_{2m} were evaluated from A_{2m}, which evaluated from the observed light curves. The unknown constants a and c₀, can be solved numerically [59]. Then the elements r_{1,2} and i can be determined from any ratios of A_{2m+2}/A_{2m}. Finally, the fractional luminosity L_{1,2} can be evaluated from the individual moment A_{2m} where L₂ = 1 - L₁.

2.2. Light curve fitting techniques. The synthetic light-curves was the solution of the Roche Models basic equation. We consider that the shape of the two components follows the equipotential surface of Roche Model given by the equation [19].

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{1}{r} + q \left[(1 - 2x + r^2)^{0.5} - x \right] + \left(\frac{1+q}{2} \right) (x^2 + y^2) \\ &= \frac{1}{r} + q \left(\frac{1}{r'} - x \right) + \left(\frac{1+q}{2} \right) (x^2 + y^2) \end{aligned} \tag{9}$$

Where x, y, z are rotating cartesian coordinates, q mass ratio, r, r' are position vectors relative to the primary and secondary centers, respectively, ξ is the normalized potential, given by

$$\xi = \frac{|\Omega| R}{Gm} - \frac{1}{2} \frac{m^2}{m(m+m')}.$$

Ω is the gravitational potential at an arbitrary point of (x, y, z). By using spherical polar coordinates:

$$x = r \cos\Phi \sin\Psi = r \lambda$$

$$y = r \sin\Phi \sin\Psi = r \mu$$

$$z = r \cos \Psi = r \nu$$

Equation (9) can be written in more familiar form such as:

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{1}{r} + q \left[(1 - 2\lambda r + r^2)^{-0.5} - \lambda r \right] + \left(\frac{q+1}{2} \right) r^2 (1 - v^2) \\ &= \frac{1}{r} + q \left(\frac{1}{r'} - \lambda r \right) + \left(\frac{q+1}{2} \right) r^2 (1 - v^2) \end{aligned} \tag{10}$$

The solution of equation (10) has been given by Kopal [19], Al-Naimiy [60,30] and Sabat [33]. We used a linear orthogonal transformation to move from the fixed cartesian coordinates x, y, z , to rotating coordinates X, Y, Z and vice versa, utilizing the transformation matrices defined by Kopal [19] and Sabat [33]. We have assumed a linear limb-darkening law [29] and also assumed a linear approximation of the gravity-darkening law:

$$(H/H_0)_\lambda = 1 + \tau_0 (g/g_0 - 1),$$

where τ_0 is the gravity-darkening index, given by

$$\tau_0 = \frac{1}{4} \frac{hc/\lambda k T_e}{1 - e^{-\frac{hc}{\lambda k T_e}}}$$

According to Al-Naimiy techniques, for developing theoretical light curve, we used a mesh of cells over the system, and calculated the amount of theoretical

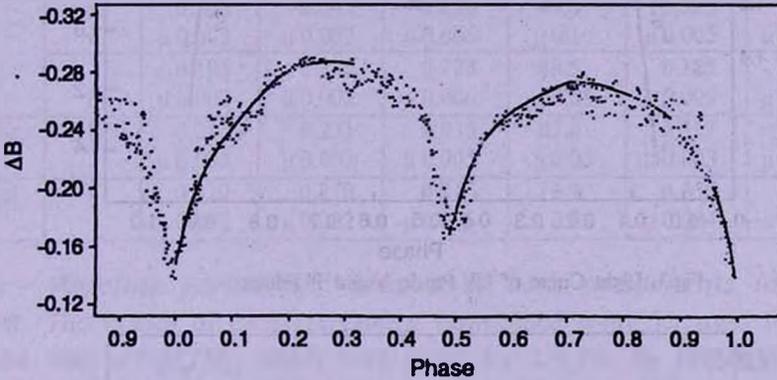


Fig.1. Blue Light Curve of ER Vul.

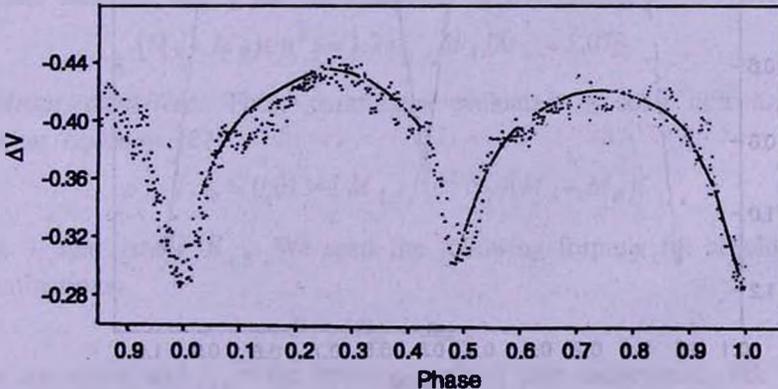


Fig.2. Yellow Light Curve of ER Vul.

light from each cell which is given by the following final equation [60].

$$\Delta I_d = \frac{Q}{4} \frac{L_{un} \left[H_o \left(1 + \tau_o \left(\frac{g - g_0}{g_0} \right) \right) (1 - u + \cos \gamma_d) + J^*(x, y) \right]}{\pi r_o^2 (1 - u/3)} (\Delta x \cdot \Delta y)_d, \quad (11)$$

where $J^*(x, y)$ is the increase in radiative flux due to reflection and heating.

Thus, the total light of the eclipsing binary system at a given phase angle is the total sum of light from each cell of the mesh, and the synthetic light-curve as whole results when the total theoretical light is calculated at sufficiently small intervals of the phase-angle, over a complete cycle of the system.

The theoretical light curve for each of RS CVn system has been calculated,

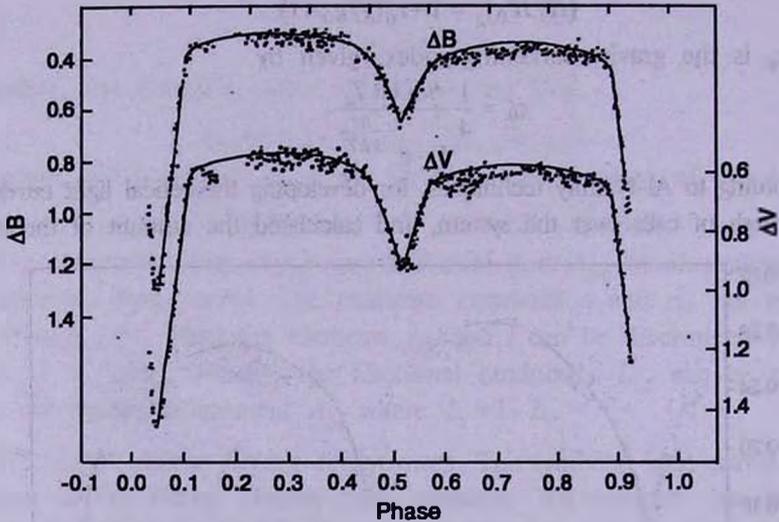


Fig.3. Light Curve of UV Psc in V and B Filters.

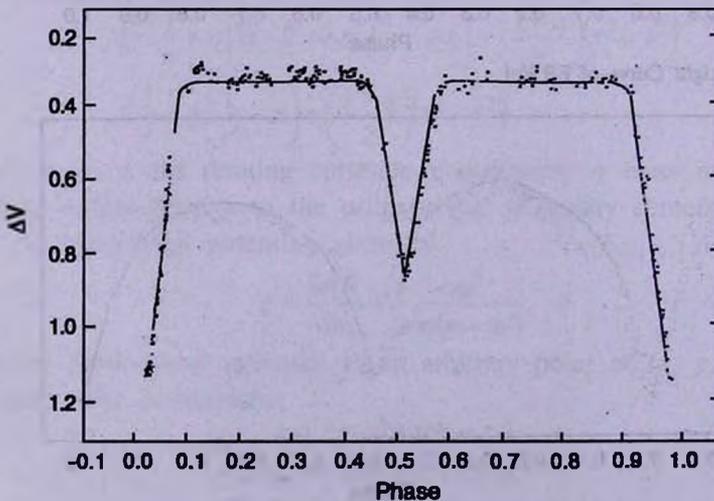


Fig.4. Light Curve of BH Vir.

then we obtained the best fit with the observational light curve at the final physical and geometrical elements. The observational data for ER Vul taken from Al-Naimiy [52,53], while for BV Vir and UV Psc are taken from Sadik [49]. Figures 1, 2, 3 and 4 show the fitting of theoretical light curve with the observed one.

3. *Computation of the parameters. i - Limb darkening coefficients (u).* According to the spectral types of each component in the three system, we evaluated $u_{1,2}$ for both components theoretically, using tables based on comprehensive range of model atmospheres of Carbon and Gingerich [61], Al-Naimiy [29].

ii - *The elements, $r_{1,2}$, i and $L_{1,2}$.* The derivation of the elements carried out by using the two techniques: Fourier analysis of the light changes and the synthetic procedure for light curve fitting, then the average value for the elements taken for those derived by the two above techniques. Table 1 contain the average values of the geometrical and physical elements.

Table 1

THE ELEMENTS OF THE THREE SYSTEMS

System	Filter	r_2	r_1	k	i	L_2	L_1
UV Psc	V	0.203 μ 0.003	0.245 μ 0.002	0.823 μ 0.006	88.8 μ 0.1	0.225 μ 0.005	0.773 μ 0.004
	B	0.195 μ 0.002	0.250 μ 0.002	0.773 μ 0.006	88.5 μ 0.05	0.185 μ 0.005	0.814 μ 0.007
BH Vir	V	0.215 μ 0.003	0.231 μ 0.003	0.935 μ 0.005	87.0 μ 0.05	0.317 μ 0.003	0.680 μ 0.003
ER Vul	V	0.220 μ 0.002	0.270 μ 0.002	0.815 μ 0.005	73.2 μ 0.05	0.350 μ 0.004	0.650 μ 0.004

iii - *Absolute parameters. Masses of both components in each system.* The masses of each component determined from the mass function and the ratio $q = M_2/M_1$, which have given for UV Psc by Popper [3], for BH Vir by Abt [43] and for ER Vul by Northcott & Bakos [57]. For example, the mass function and q for ER Vul given as the following

$$(M_A + M_B) \sin^3 i = 1.73, \quad M_A/M_B = 1.078.$$

Mean densities. These parameters evaluated in solar unit using the following equation [62].

$$\rho_{A,B}/\rho_\odot = 0.01344 M_{A,B} / \{P^2 r_{1,2}^3 / (M_A + M_B)\}.$$

iv - *The radii $R_{A,B}$.* We used the following formula for absolute radii determinations:

$$R_{A,B}/R_\odot = ar_{A,B},$$

where $a = a_1 + a_2$ and $r_{A,B}$ = the fractional radii of both components. For ER Vul:

$$a_1 \sin i = 1.326 \times 10^6 \text{ km,}$$

$$a_2 \sin i = 1.433 \times 10^6 \text{ km.}$$

Therefore $a = 2.759/\sin i \times 10^6 \text{ km} = (29.5 + 0.02) \times 10^6 \text{ km} = 4.25 R_\odot$.

For UV Psc and BV Vir, we used

$$a/R_\odot = \{74.55(M_1/M_\odot)(1+q)P^2\}^{1/3}$$

v - *The luminosity and bolometric magnitudes.* These parameters evaluated for each components by using the well known relation (Stephan-Boltzmann Law).

$$L_{A,B}/L_\odot = (R_{A,B}/R_\odot)^2 (T_{A,B}/T_\odot)^4, \text{ where } T_\odot = 5770\text{K.}$$

The bolometric magnitudes M_{bol} can be evaluated using the following equation [63]:

$$M_{bol,A,B} = 42.36 - 10 \log T_{A,B} - 5 \log (R_{A,B}/R_\odot).$$

The absolute parameters of the two components for each system are listed in Table 2.

Table 2

ABSOLUTE PHYSICAL ELEMENTS

Elements	Stars		
	UV Psc	BH Vir	ER Vul
A/R_\odot	4.9	4.42	4.31
R_1/R_\odot	1.23	1.05	1.16
R_2/R_\odot	0.95	1.02	0.96
L_1/L_\odot	1.45	1.38	1.58
L_2/L_\odot	0.39	0.88	0.91
ρ_1/ρ_\odot	0.66	0.82	0.73
ρ_2/ρ_\odot	1.13	1.1	1.2
M_{bol1}	4.34	4.36	4.25
M_{bol2}	5.75	4.64	4.85
M_1/M_\odot	1.2	0.86	1.15
M_2/M_\odot	0.9	0.88	1.06
T_1	5740	6150	6000
T_2	4750	5850	5750

vi - *Effective temperature.* It is not a straightforward matter to directly deduce T_{eff} of both components independently. However, we may consider the planckian approximation for the flux ratio F_A/F_B , and using the following expression in terms of the reciprocal effective temperature [64].

$$F_A/F_B = \exp[a(\theta_B - \theta_A)] \left[1 - \exp(-a\theta_B) + \exp(-a\theta_A) + \exp(-a\theta_A)^2 \right],$$

$$a = 2.857 \times 10^{-4} / \lambda_{eff}^{(cm)} = 6.57 \text{ in blue,}$$

$$= 5.15 \text{ in yellow, } \theta_{A,B} = 5040/T_{eff,A,B}.$$

λ_{eff} has been taken from Ibanoglu [65] for ER Vul, while for UV Psc from

Popper [3] and for BH Vir from Abt [56]. For F_A/F_B , we used the following formulae:

$$F_A/F_B = k^2 L_A/L_B, \text{ where } k = r_B/r_A.$$

Then we find the value of $(\theta_B - \theta_A)$. If we assume the temperature of G0V component from Cox and Gouli Table [66] as 6000 K, this leads to an effective temperature of the secondary component for each system (see Table 2).

4. *The final results.* Tables 1 and 2 give the mean values of physical and geometrical elements for the three system, using the two mentioned procedures.

A , $R_{A,B}$, $L_{A,B}$, $\rho_{A,B}$, $M_{bol,A,B}$ stand for the separation between the two components, absolute radius, absolute luminosity, density, and the bolometric magnitude, respectively, and $M_{A,B}$, $T_{1,2}$ represent the mass of two component, and temperature, respectively.

5. *Discussion and Conclusion.* 5.1. *The parameters.* Tables 1 and 2 show the geometrical and physical elements of the three short period group of RS CVn binaries. We can conclude from the fractional radii values (Table 1) that the primary eclipse for the three system is a transit eclipses.

5.2. *Wave amplitude.* The amplitude is an important parameter that characterizes the light curve. The light variation in RS CVn stars arises from the rotational modulation of the observed flux by the presence of star spots on active components. The amplitude of light variation depends only on the longitude asymmetry in the distribution of spots, and hence a variation in the amplitude implies significant changes in the longitudinal distribution of spots. We have estimated the wave amplitudes in V and B filters and the phases of the maximum and minimum brightnesses for each system (Table 3). It can

Table 3

THE AMPLITUDES AND THE ESTIMATED PHASES OF THE MAX AND MIN BRIGHTNESS AT OUTSIDE ECLIPSE

Star	$\theta_{\min}(V)$	$\theta_{\max}(B)$	Amp.(V)	Amp.(B)
UV Psc	0.48	0.84	0.07	0.09
BH Vir	0.62	0.21	0.04	-
ER Vul	0.03	0.81	0.06	0.05

be seen from this Table that the amplitude is small for BH Vir and a clear trend of the wave amplitude dependence with wavelength is shown in UV Psc. While for ER Vul shows a smaller trend because of the smallness light changes.

5.3. *Position of each component in H-R diagram.* We managed to determine the position of the three eclipsing binaries on H - R diagram from the absolute physical elements (Table 2). We found that both components of each system lies within the main - sequence band, and the primary star is

more evolved than the secondary.

5.4. *Type of eclipse.* The type of eclipse can be defined from the numerical values of the constants a and c_0 as a function of $r_{1,2}$ and i (Equ. 7). The eclipse is total if $c_0 < 1 - 2a$ and partial if $1 > c_0 > 2a - 1$. By applying these formulas to the three binaries, we found that the eclipse partial for BH Vir and ER Vul and total for UV Psc.

5.5. *First contact angle.* The first contact angle (θ_1) can be derived from the following: equation: $\theta_1 = \sin^{-1} \sqrt{(r_1 + r_2)^2 \csc^2 i - \cot^2 i}$

The results for the systems was: for UV Psc = $26^\circ.8$, for BH Vir = $27^\circ.7$ and for ER Vul = $26^\circ.0$. That mean θ_1 vary from $26^\circ \rightarrow 28^\circ$ which is less than that of contact binaries, this concludes that all systems are detached and the two components for each system are well inside the Roche lobes.

5.6. *RS CVn are a Sun like stars.* It is clear from Table 2 that the absolute physical parameters of the primary and secondary star $R_{A,B}$, $M_{A,B}$ and $T_{A,B}$ of the systems are nearly equal to the physical parameters of the Sun, this means that the physical properties of the short period group of RS CVn are in analogy with the Sun.

5.7. *The eccentricity and apsidal motion.* We have not found any significant effect which could be associated either with eccentricity (e) or apsidal motion (ω), therefore, e and ω have been ignored in our solutions.

5.8. *Suggestions.* Finally, we suggest that these groups of stars needs continuous observational programs for the investigation of minimum changes, wave migrations, star spots and the calculation of the period of their phenomena.

Institute of Astronomy and Space Sciences, Al al-Bayt University,
Mafrq, Jordan

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВЕЗДНЫХ ПЯТЕН ДЛЯ ТРЕХ КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКИХ ДВОЙНЫХ ТИПА RS CVn

Н.М.КАЛ-НАИМИ

Проведен анализ кривых блеска для трех короткопериодических двойных типа RS CVn с помощью двух методов: а) Фурье-анализ для изменений кривых блеска в области частот и б) подгонка фотометрических кривых с помощью численных квадратур для получения теоретических кривых

блеска для звезд типа RS CVn. Оба метода применены для систем ER Vul, BH Vir и UV Psc. Найдены улучшенные физические и геометрические параметры путем усреднения результатов, полученных обоими методами.

REFERENCES

1. *O.J.Eggen*, Pub. Astron. Soc. Pacif. **67**, 315, 1955.
2. *D.M.Popper*, B.A.A.S. **1**, 257, 1969.
3. *D.M.Popper*, I.B.V.S. No.1083, 1976.
4. *D.S.Hall*, Pub. Astron. Soc. Pacif., **84**, 323, 1972.
5. *D.S.Hall*, in IAU Colloquium No29, "Multiple Periodic Variable Stars" (D.Reidel, Boston), 1976, p.278-348.
6. *R.Wilson*, *K.R.Lang*, Astrophys. J., **312**, 278, 1987.
7. *E.Budding*, *M.Zeilik*, Astrophys. J. **319**, 827, 1987.
8. *N.W.Griffiths*, Astrophys. J. **518**, 873, 1999.
9. *K.G.Strassmeier*, *D.S.Hall*, *M.Zeilik*, *E.R.Nelson*, *Z.Eker*, *F.C.Fekel*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser. **72**, 291, 1988.
10. *J.P.Oliver*, IAU Symp. **51**, 279, 1973.
11. *S.Catalano*, *M.Rodono*, Pub. Astron. Soc. Pacif., **86**, 390, 1974.
12. *D.S.Hall*, in Highlights in Astronomy. P.A.Wayman ed., Vol5, 1980, p.841-845.
13. *B.W.Bopp*, in IAU Colloquium 71, "Activity in Red Dwarf Stars", M.Rodono and P.Byrne eds. (Dordrecht: Reidel). 1983, p.363.
14. *G.E.Kronk*, Pub. Astron. Soc. Pacif., **59**, 261, 1947.
15. *D.S.Hall*, Acta Astron., **25**, 215, 1975.
16. *J.A.Eaton*, *D.S.Hall*, Astrophys. J., **227**, 907, 1979.
17. *E.Budding*, *M.Zeilik*, Astrophys. Space, Sci., **232**, 355, 1995.
18. *K.P.Singh*, *S.A.Drake*, *N.E.White*, Astrophys. J. **445**, 840, 1995.
19. *Z.Kopal*, Close Binary System, Chapman (Hall and John Wiley, London and New York), 1959.
20. *Z.Kopal*, Language of the Stars (D.Reidel Publ. Co., Dordrecht and Boston), 1979.
21. *L.B.Lucy*, Astrophys. J., **151**, 1123, 1968.
22. *G.H.Hill*, *J.B.Hutchings*, Astrophys. J., **162**, 265, 1970.
23. *D.B.Wood*, Astron. J., **76**, 701, 1971.
24. *D.B.Wood*, Astron. J., **81**, 855, 1976.
25. *R.E.Wilson*, *E.J.Devinney*, Astrophys. J., **166**, 605, 1971.
26. *S.W.Mochanacki*, *N.A.Doughty*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **156**, 51, 1972.
27. *E.Budding*, Astrophys. Space, Sci., **22**, 87, 1973.
28. *H.M.K.Al-Naimiy*, Astrophys. Space, Sci., **46**, 261, 1977.
29. *H.M.K.Al-Naimiy*, Astrophys. Space, Sci., **53**, 181, 1977.
30. *H.M.K.Al-Naimiy*, Astrophys. Space, Sci., **56**, 219, 1978.

31. *A.P.Linnell*, *Astrophys. J.*, **54**, 17, 1984.
32. *D.M.Popper*, *Astron. J.*, **89**, 132, 1984.
33. *H.A.Sabat*, *H.M.K.Al-Naimiy*, *I.A.Barghouthi*, *M.A.S.Al-Wardat*, *Astrophys. Space, Sci.* **260**, 347, 1999.
34. *P.Hut*, *Astron. Astrophys.*, **99**, 126, 1981.
35. *D.M.Popper*, *Astron. J.*, **83**, 1522, 1978.
36. *A.R.Sadik*, *Astrophys. Space, Sci.* **63**, 319, 1979.
37. *M.Busso*, *F.Scaltriti*, *A.Cellino*, *Astron. Astrophys.*, **148**, 29, 1985.
38. *M.B.K.Sarma*, *Rao Prakas*, *B.V.N.S.*, *B.D.Ausekar*, *Inf. Bull. Var. Stars*, **2375**, 1983.
39. *E.Antonopoulou*, *Astrophys. Space, Sci.* **135**, 335, 1987.
40. *C.Ibanoglu*, *Astrophys. Space, Sci.* **139**, 139, 1987.
41. *V.Keskin*, *M.C.Akan*, *C.Ibanoglu*, *Z.Tunca*, *S.Evren*, *Inf. Bull. Var. Stars* **No3060**, 1987.
42. *M.C.Akan*, *Astrophys. Space, Sci.* **143**, 367, 1988.
43. *H.A.Abt*, *Pub. Astron. Soc. Pacif.*, **77**, 367, 1965.
44. *V.P.Tessevich*, *Astron. Cic (Kazan)*, **35**, 10, 1944.
45. *M.Huruhata*, *T.Nakamura*, *Bull. Tokyo Astron. Obs.* **33**, 1950.
46. *A.Szcsepanski*, *Acta. Astron.* **6**, 145, 1956.
47. *M.Kitamura*, *T.Nakamura*, *C.Takahashi*, *Pub. Astr. Soc. Jap.* **9**, 191, 1957.
48. *R.H.Koch*, *Astron. J.* **72**, 411, 1967.
49. *A.R.Sadik*, *Ph.D.Thesis*, Univ. of Manchester, 1978.
50. *M.Hoffmann*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **47**, 561, 1982.
51. *R.J.Nothing*, *G.A.Bakos*, *Astron. J.*, **61**, 188, 1956.
52. *H.M.K.Al-Naimiy*, *Inf. Bull. Var. Stars*, **No.1481**, 1978.
53. *H.M.K.Al-Naimiy*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **43**, 85, 1981.
54. *M.C.Akan*, *C.Ibanoglu*, *Z.Tunca*, *S.Evren*, *V.Keskin*: *Inf. Bull. Var. Stars*, **3059**, 1987.
55. *M.Zeilik*, *R.Elston*, *G.Henson*, *P.Schmolke*, *P.Smith*, *Inf. Bull. Var. Stars*, **2168**, 1981.
56. *M.Zeilik*, *E.Budding*, in "Cool Stars. Stellar Systems and the Sun", *M.Zeilik* and *D.Gibson* eds. (Springer-Verlag" Berlin), 1986, p.294.
57. *Z.Kopal*, *Astrophys. Space Sci.* **81**, 123, 1982.
58. *Z.Kopal*, *Astrophys. Space Sci.* **45**, 269, 1976.
59. *Z.Kopal*, *O.Demircan*, *Astrophys. Space Sci.* **55**, 241, 1978.
60. *H.M.K.Al-Naimiy*, *Iraqi Journal of Science*, Univ. of Baghdad, **3**, 36, 1995.
61. *D.F.Carbon*, *O.Gingerish*, in *Theory and Observation of Normal Stellar Atmospheres* (MIT Press) 1969, p.377.
62. *Z.Kopal*, *M.B.Shapley*, *Jodrell Bank Ann.* **1**, 141, 1956.
63. *C.W.Allen*, *Astrophysical Quantities*, Univ. of London (The Athlone Press) 1973.
64. *H.M.K.Al-Naimiy*, *E.Budding*, *Astrophys. Space Sci.* **51**, 265, 1977.
65. *C.Ibanoglu*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **13**, 119, 1974.
66. *J.P.Cox*, *R.T.Gouli*, *Principle of Stellar Structure* (Gordon and Breach) **Vol.1**, p.11, 1968.

УДК: 520.823

АНАЛИЗ МНОГОЦВЕТНЫХ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ SS 433

Т. Р. ИРСМАМБЕТОВА

Поступила 14 ноября 2000

Принята к печати 15 января 2001

Представлены наблюдения быстрой фотометрической переменности SS 433 в фильтрах BVR, полученные на горе Майдамак в течение 12 ночей в 1989-90 гг. На базе многоцветных фотозлектрических наблюдений проводится анализ поведения показателей цвета $U-B$, $B-V$, $V-R$ в различных временных диапазонах. Обнаружено, что как для быстрой переменности в течение ночи, так и для переменности в масштабах орбитального периода существуют зависимости "цвет - блеск" для $U-(U-B)$, $B-(B-V)$, аналогичные хорошо известной зависимости $V-(V-R)$, с характерным признаком - при увеличении блеска показатели цвета уменьшаются. Показано, что покраснение объекта при уменьшении блеска вызвано не только затмениями. Поведение цветовых характеристик можно объяснить взаимодействием релятивистских джетов с атмосферой вокруг аккреционного диска.

1. *Введение.* SS 433 - рентгеновая тесная двойная система с движущимися эмиссионными линиями в спектре. В оптическом диапазоне наблюдаются периодические изменения блеска с орбитальным периодом 13.08 дня и периодом прецессии 162.5 дня с амплитудой около 1^m . Форма кривых блеска и глубина главного затмения меняются с прецессионной фазой. Состояние активности приводит к искажению формы кривых блеска, при этом амплитуда вспышек достигает $1^m.3$.

Основной массив наблюдательных данных SS 433 выполнен в фильтре V , поэтому анализу цветовых изменений посвящено немного работ. Наиболее изучено поведение показателя цвета $V-R$. Гладышевым [1] обнаружена корреляция между блеском в полосе V и показателем цвета $V-R$. Уменьшение блеска звезды в спокойном состоянии сопровождается увеличением $V-R$. Зависимость справедлива как для вариаций блеска вследствие прецессионных изменений, так и для орбитального периода. Наблюдаемые отклонения $V-R$ от этой зависимости в область больших значений показателя цвета связываются с активностью. Показатели цвета $U-B$ и $B-V$ ведут себя не так однозначно. На диаграммах "цвет - блеск" в работе [2] для $U-B$ и $B-V$ явно выраженных закономерностей не замечено. Многие наблюдатели считают показатель цвета $B-V$ постоянным при всех изменениях блеска [1,3]. Но в [4] приведены данные, свидетельствующие об увеличении всех показателей цвета в главном затмении в момент ТЗ (максимального раздвижения подвижных эмиссий). А именно: для

индивидуальной кривой, полученной в период JD 2446581-589, амплитуды покраснения следующие: $V - R = 0^m.23$, $B - V = 0^m.15$, $U - B = 0^m.10 - 0^m.15$.

В данной работе сделана попытка обнаружить какую-либо систематику в поведении голубых показателей цвета. В этих целях проведен анализ диаграмм "цвет - блеск", построенных аналогично зависимости $V - (V - R)$, т.е. $B - (B - V)$ и $U - (U - B)$.

2. *Наблюдения.* При исследовании использовался различный по характеру наблюдений фотометрический материал - как средние оценки за ночь, так и многочасовые мониторинги с временным разрешением в несколько минут. В табл.1 представлены наблюдения фотометрической переменности в районе прецессионной фазы ТЗ, которые проводились в

Таблица 1

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ SS 433 НА ГОРЕ
МАЙДАНАК

JD2444000+	B	V	R	JD2444000+	B	V	R
759.156	16.35	14.21	11.91	760.270	16.39	14.29	11.86
759.167	16.50	14.24	11.92	760.277	16.78	14.31	11.85
759.175	16.44	14.21	11.91	760.286	16.71	14.31	11.84
759.183	16.61	14.14	11.86	760.293	16.45	14.33	11.86
759.193	16.35	14.15	11.85	760.311	16.52	14.28	11.82
759.201	16.52	14.14	11.85	760.319	16.63	14.26	11.80
759.210	16.49	14.17	11.89	761.154	16.45	14.38	12.07
759.217	16.45	14.17	11.88	761.161	16.63	14.39	12.06
759.224	16.36	14.17	11.88	761.170	16.49	14.44	12.04
759.234	16.20	14.17	11.87	761.178	16.49	14.43	12.06
759.241	16.48	14.15	11.92	761.184	16.55	14.47	12.10
759.250	16.60	14.17	11.92	761.193	16.54	14.40	12.04
759.259	16.60	14.25	11.92	761.202	16.66	14.45	12.06
759.266	16.38	14.23	11.92	761.210	16.52	14.48	12.08
759.272	16.38	14.19	11.92	761.218	16.59	14.40	12.06
759.327	16.60	14.16	11.90	761.226	16.58	14.38	12.07
759.336	16.63	14.14	11.85	761.233	16.77	14.43	12.09
759.345	16.37	14.15	11.87	761.241	16.66	14.37	12.05
760.157	16.65	14.44	11.95	761.249	16.77	14.38	12.01
760.164	16.59	14.42	11.91	761.255	16.77	14.35	12.03
760.172	16.74	14.38	11.90	761.263	16.69	14.38	12.04
760.179	16.66	14.37	11.90	761.270	16.55	14.33	11.97
760.186	16.72	14.35	11.88	761.277	16.51	14.34	12.00
760.195	16.66	14.36	11.92	761.283	16.49	14.39	12.03
760.202	16.54	14.35	11.86	761.291	16.79	14.35	12.01
760.209	16.53	14.34	11.87	761.298	16.67	14.34	12.05
760.218	16.57	14.32	11.88	761.304	16.69	14.33	12.04
760.225	16.63	14.37	11.88	762.157	16.24	14.20	11.87
760.231	16.48	14.33	11.89	762.164	16.46	14.17	11.86
760.240	16.59	14.32	11.89	762.173	16.26	14.15	11.84
760.247	16.47	14.35	11.88	762.181	16.27	14.17	11.85
760.254	16.56	14.31	11.87	762.186	16.23	14.13	11.85
760.262	16.72	14.32	11.87	762.195	16.40	14.13	11.85

Таблица 1 (продолжение)

JD2444000+	B	V	R	JD2445000+	B	V	R
762.201	16.24	14.14	11.83	056.277	16.23	13.90	11.77
762.209	16.37	14.16	11.86	056.287	16.10	13.90	11.77
767.218	16.36	14.22	11.89	056.291	16.20	13.98	11.84
767.229	16.40	14.21	11.90	056.300	16.07	13.98	11.81
767.235	16.40	14.24	11.92	056.306	16.16	14.02	11.82
767.244	16.43	14.14	11.83	056.312	16.07	13.88	11.77
767.252	16.40	14.18	11.85	056.318	16.09	13.86	11.76
767.261	16.46	14.18	11.87	056.324	16.10	13.94	11.78
767.269	16.29	14.19	11.85	056.329	15.90	13.86	11.73
767.276	16.43	14.21	11.87	056.335	15.90	13.78	11.72
767.284	16.38	14.17	11.87	056.340	16.01	13.87	11.73
767.291	16.28	14.17	11.89	056.346	15.77	13.82	11.70
767.297	16.29	14.12	11.85	056.351	16.01	13.94	11.76
767.305	16.24	14.13	11.82	056.357	16.01	13.91	11.77
767.312	16.20	14.10	11.83	056.362	16.13	13.90	11.77
767.170	16.28	14.06	11.82	056.369	16.22	13.92	11.75
767.179	16.39	14.13	11.85	056.377	16.02	13.92	11.81
767.188	16.36	14.04	11.96	056.382	15.95	13.90	11.73
767.204	16.19	14.09	11.82	056.387	16.04	13.84	11.69
767.212	16.03	14.00	11.71	056.393	15.78	13.79	11.72
767.221	16.05	13.91	11.63	056.400	16.07	13.88	11.72
767.228	15.93	13.84	11.60	056.406	15.96	13.88	11.74
767.234	15.94	13.85	11.56	056.420	15.93	13.85	11.72
767.244	15.97	13.84	11.58	057.309	16.04	13.81	11.66
767.250	15.86	13.85	11.56	057.314	16.01	13.79	11.68
767.259	16.05	13.82	11.57	057.319	16.00	13.85	11.71
767.266	15.98	13.84	11.51	057.324	15.88	13.78	11.70
767.270	15.91	13.83	11.53	057.329	15.80	13.72	11.66
767.277	15.88	13.79	11.51	057.333	15.92	13.71	11.62
768.149	16.23	14.04	11.56	057.338	15.93	13.83	11.68
768.157	16.09	14.03	11.58	057.344	16.05	13.82	11.72
768.164	16.15	14.01	11.54	057.348	16.00	13.90	11.73
768.172	16.17	14.01	11.53	057.352	15.89	13.75	11.65
768.179	16.18	14.01	11.56	057.357	15.79	13.80	11.69
768.187	16.17	14.03	11.55	057.361	16.11	13.84	11.71
768.193	16.23	14.01	11.55	057.366	16.03	13.84	11.70
768.198	16.13	14.02	11.57	057.371	16.03	13.86	11.72
768.209	16.21	14.06	11.55	057.375	15.92	13.85	11.72
768.218	16.24	14.06	11.59	057.380	16.04	13.79	11.70
768.225	16.20	14.03	11.55	057.386	15.79	13.78	11.72
768.234	16.17	14.01	11.56	057.393	15.94	13.80	11.70
768.241	16.20	14.03	11.55	057.398	15.97	13.88	11.75
768.247	16.27	14.00	11.53	057.404	15.83	13.83	11.73
768.256	16.16	14.02	11.56	057.409	16.06	13.86	11.73
768.263	16.21	14.08	11.58	057.414	15.92	13.81	11.67
768.270	16.17	14.06	11.58	057.418	16.03	13.83	11.70
768.279	16.27	14.04	11.56	057.423	16.03	13.77	11.65
768.285	16.09	13.93	11.51	057.427	15.87	13.86	11.70
768.292	16.06	14.01	11.50	057.432	15.89	13.78	11.69
768.300	16.08	13.95	11.51	057.437	15.97	13.75	11.66
768.306	16.20	13.99	11.53	058.295	15.95	13.86	11.75

Таблица 1 (окончание)

JD2445000+	<i>B</i>	<i>V</i>	<i>R</i>	JD2445000+	<i>B</i>	<i>V</i>	<i>R</i>
058.300	16.03	13.91	11.75	060.333	16.44	14.23	11.98
058.306	16.03	13.80	11.70	060.337	16.47	14.16	11.99
058.312	16.02	13.90	11.74	060.342	16.49	14.19	11.99
058.316	16.15	13.90	11.76	060.346	16.66	14.17	11.97
058.321	15.92	13.89	11.76	060.350	16.38	14.22	11.99
058.325	16.03	13.81	11.71	060.355	16.35	14.18	11.94
058.330	16.18	13.83	11.73	060.359	16.32	14.21	11.96
058.335	16.05	13.86	11.78	060.364	16.26	14.21	11.95
058.347	16.23	13.90	11.78	060.369	16.46	14.17	11.96
058.353	15.97	13.83	11.72	060.373	16.41	14.16	11.96
058.359	15.94	13.78	11.71	060.378	16.47	14.24	11.99
058.371	15.77	13.69	11.71	060.387	16.37	14.23	11.99
058.386	15.90	13.73	11.65	060.394	16.43	14.15	11.95
058.390	15.85	13.75	11.68	060.398	16.41	14.26	12.01
058.395	15.90	13.83	11.70	060.402	16.34	14.20	12.01
058.400	15.92	13.90	11.76	060.407	16.43	14.23	12.01
058.405	15.93	13.77	11.67	060.411	16.39	14.25	12.03
058.409	16.08	13.87	11.78	060.416	16.61	14.29	12.04
058.414	16.04	13.88	11.73	060.420	16.39	14.26	12.04
059.302	15.95	13.87	11.77	060.424	16.27	14.22	12.01
059.309	15.99	13.91	11.81	060.430	16.49	14.21	12.03
059.313	16.04	13.84	11.74	060.434	16.75	14.22	11.98
059.317	16.09	13.88	11.80	061.289	16.81	14.54	12.21
059.322	15.88	13.81	11.77	061.294	16.69	14.56	12.20
059.326	15.99	13.90	11.77	061.300	16.92	14.56	12.18
059.330	16.12	13.88	11.78	061.305	16.96	14.50	12.19
059.336	16.12	13.96	11.85	061.310	16.95	14.52	12.16
059.340	16.23	13.97	11.82	061.315	16.74	14.49	12.13
059.344	16.11	13.93	11.81	061.321	17.25	14.56	12.18
059.349	16.02	13.96	11.83	061.327	16.77	14.51	12.23
059.358	16.15	13.95	11.82	061.332	16.83	14.52	12.23
059.362	16.27	13.96	11.84	061.336	16.86	14.57	12.26
059.367	16.05	14.01	11.84	061.341	17.04	14.62	12.26
059.372	16.07	13.99	11.85	061.347	16.84	14.63	12.25
059.376	15.98	13.99	11.85	061.351	16.83	14.65	12.31
059.380	16.06	14.00	11.84	061.356	16.89	14.62	12.28
059.385	15.98	13.90	11.81	061.361	17.08	14.62	12.27
059.389	16.08	13.95	11.79	061.366	16.79	14.63	12.27
059.395	16.11	13.95	11.84	061.371	16.80	14.58	12.29
059.401	15.91	13.85	11.80	061.376	16.86	14.62	12.28
059.405	15.85	13.92	11.80	061.380	16.88	14.59	12.23
059.410	16.08	14.01	11.86	061.385	16.90	14.65	12.28
059.414	16.18	13.94	11.85	061.389	16.94	14.56	12.24
059.419	16.07	13.97	11.83	061.394	17.25	14.60	12.27
060.294	16.35	14.17	11.96	061.398	16.75	14.61	12.25
060.300	16.39	14.20	11.99	061.404	16.77	14.66	12.27
060.305	16.37	14.20	11.98	061.409	17.08	14.68	12.28
060.310	16.39	14.12	11.96	061.414	17.26	14.62	12.26
060.314	16.57	14.16	11.97	061.418	16.87	14.67	12.28
060.319	16.32	14.18	11.95	061.423	16.96	14.58	12.23
060.323	16.41	14.22	11.96	061.429	17.19	14.59	12.28
060.327	16.23	14.22	11.97	061.434	17.04	14.58	12.29

1989г. и 1990г. (JD 2447759-768, 2448056-061) на горе Майданак. В течение 12 ночей получены ряды наблюдений SS 433 в фильтрах *BVR* при помощи одноканального фотометра "Одесса" со средним временным разрешением 6-9 мин. Один такой ряд получался в результате непрерывного 4-5-часового слежения за объектом на телескопе Цейсс-1000, использование которого позволило достичь относительно высокой точности измерений. Точность оценок следующая:

$$B = 0^m.05 + 0^m.07, V = 0^m.011 + 0^m.016, R = 0^m.007 + 0^m.009.$$

В качестве стандарта использовалась звезда C1, обозначение и величины которой указаны в [5]. В работе использовались также фотоэлектрические наблюдения быстрой переменности SS 433 в полосах *UBVRI* (JD 2446581-589, 2446939-951), выполненные В.Ю.Рахимовым на горе Санглок [4,6]. Средние оценки блеска *BVR* заимствованы из работы [7].

3. *Быстрая переменность.* Присутствие быстрой переменности в блеске SS 433 на временных масштабах от минут до десятков минут - надежно установленный факт. Согласно работам [4,8] быстрая фотометрическая и спектральная переменность в системе SS 433 наблюдается всегда, т.е. в любой фазе орбитального и прецессионного циклов. Минимальное время переменности в рассматриваемых наблюдениях - порядка 2 мин, присутствуют колебания и с большими временами, 10-30 мин. На временах 10^{-6} -10 с [9] переменность блеска не обнаружена. Быстрая фотометрическая переменность наблюдается во всех цветовых диапазонах, при этом амплитуда переменности растет от длинноволнового участка спектра к более короткому и достигает от $0^m.1$ в фильтре *R* до $0^m.5$ в фильтре *U*.

Быстрой переменности подвержены как релятивистские линии водорода, так и стационарные линии. Релятивистские линии водорода имеют сложную многокомпонентную структуру, изменяющуюся от ночи к ночи. В рамках наиболее основательной работы по этой теме [8], быстрая переменность параметров релятивистских линий на малых временах объясняется дискретностью струи, которая состоит из отдельных облаков ионизованного газа. Авторы делают вывод о том, что совпадение характерного времени переменности стационарных линий со временем быстрой переменности блеска в разных фильтрах указывает на причину возникновения самой быстрой переменности - результат прохождения релятивистских струй через оболочку, окружающую двойную систему.

Имеющийся наблюдательный материал позволяет проследить за динамикой изменений в цветовых характеристиках быстрой переменности. На рис. 1a-d представлены наблюдения SS 433, выполненные на горе Санглок и на горе Майданак в момент прецессионной фазы T3. Ряды наблюдений, полученные на Санглоке, имеют временное разрешение порядка 2 мин, но сами ряды прерывистые. Ряды наблюдений, полученные на Майданаке,

имеют временное разрешение порядка 7 мин и монотонные в течение всей ночи. В принципе, эти наблюдения подтверждают ранее полученные выводы о наличии и характере быстрой переменности.

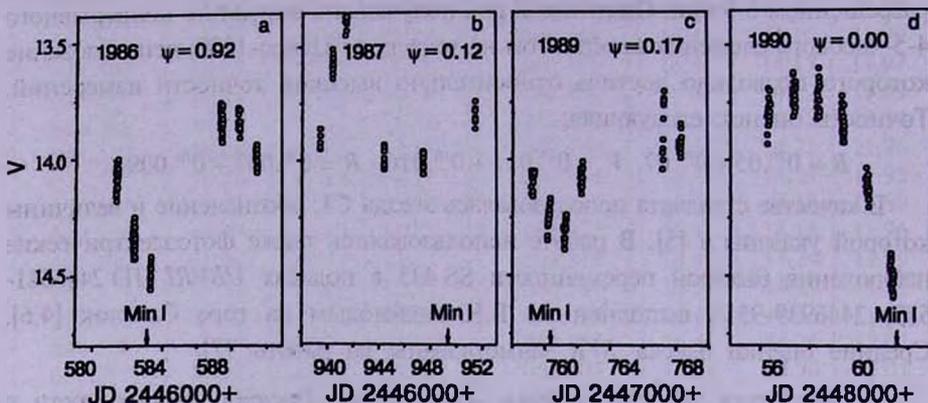


Рис.1. Фотометрическое поведение SS 433 в фильтре V за время наблюдений быстрой переменности. Стрелками указаны расчетные моменты главных минимумов блеска. а, б - наблюдения на Санглоке в 1986, 87гг; с, d - наблюдения на Майданаке в 1989, 90гг. В период наблюдений 1987г. и 89г. SS 433 находился в стадии активности.

Быстрая переменность в фильтрах $UBVRI$ на временах порядка 2-20 мин является неотъемлемой характерной чертой SS 433. Как видно из рис.1а-д, быстрая переменность не исчезает не только в моменты глубоких затмений, но и в моменты вспышек. Амплитуда колебаний блеска на этих временах растет от красного конца спектра к синему и в среднем составляет:

$$R = 0^m.10 \pm 0^m.05, V = 0^m.15 \pm 0^m.05, B = 0^m.35 \pm 0^m.10, U = 0^m.50 \pm 0^m.10.$$

В полосе I амплитуда быстрой переменности немного больше, чем в R (что выпадает из предыдущей последовательности амплитуд), $I = 0^m.20 \pm 0.05$. Показатели цвета чаще всего повторяют ход кривой блеска более коротковолновой составляющей. Например, характер изменений показателя цвета $U-B$ повторяет изменения блеска в фильтре U и т.д.

Существует более медленная переменность - за время порядка одного часа проходит плавная, синхронная во всех фильтрах волна, например в JD 2448058 (табл.1), с амплитудой $0^m.25$ в фильтре V . Переменность такого типа коррелирует, по крайней мере, в фильтрах BVR , амплитуда растет от R , V к B . Как и в случае быстрой переменности, рост блеска также сопровождается уменьшением показателей цвета. Наблюдения в JD 2447767 (табл.1) показывают другой тип волны, когда блеск плавно, примерно за 30 мин, вырос на $0^m.4$ в фильтре B , на $0^m.25$ в V и на $0^m.25$ в R , при этом потоки во всех фильтрах BVR показали необычную корреляцию. Если показатель цвета $B-V$ уменьшился на $0^m.15$, то $V-R$ не изменился. Существенно отметить, что в этот момент SS 433 находился в состоянии активности, в районе вторичного минимума.

На рис.2а-d приведены диаграммы "цвет - блеск", построенные по данным быстрой переменности для $U-(U-B)$, $B-(B-V)$, $V-(V-R)$ по наблюдениям, соответствующим рис.1а-d. Как видно из рисунка, для каждой ночи имеет место локальная зависимость "цвет - блеск", т.е. зависимость показателя цвета от его более коротковолновой компоненты. Полученный эффект можно было бы объяснить динамикой ошибок измерений, т.к. ошибки измерений увеличиваются с уменьшением блеска. Но на рис.2а-d видно, что величины ошибок гораздо меньше амплитуд полученных зависимостей.

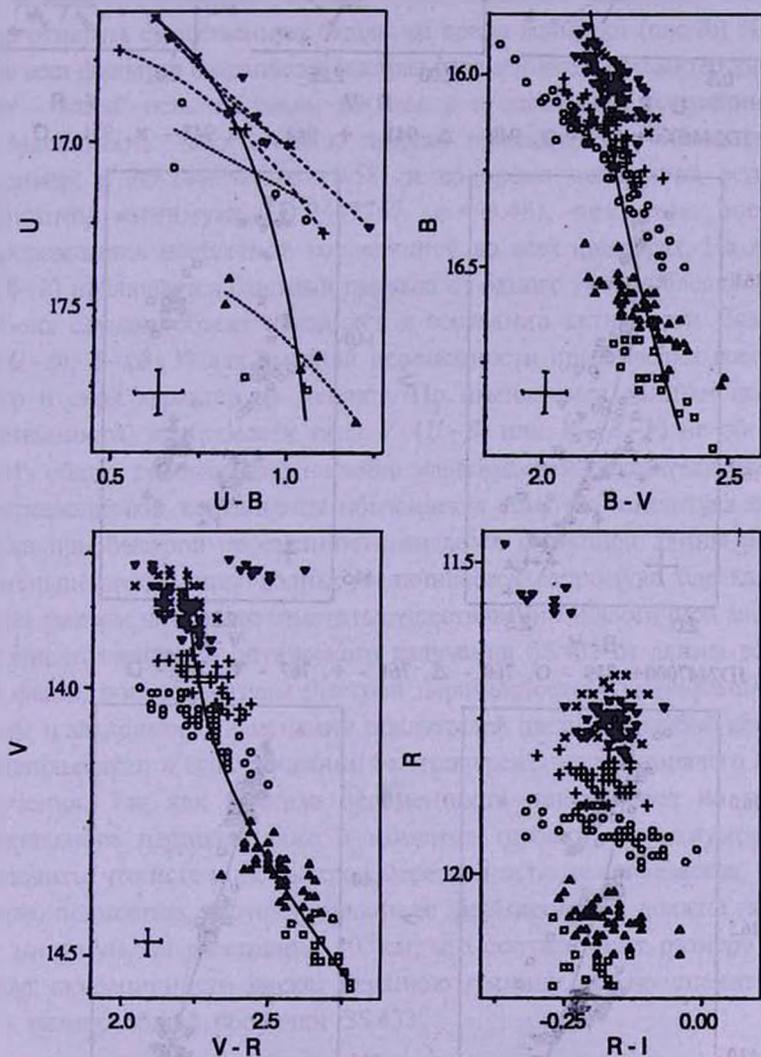
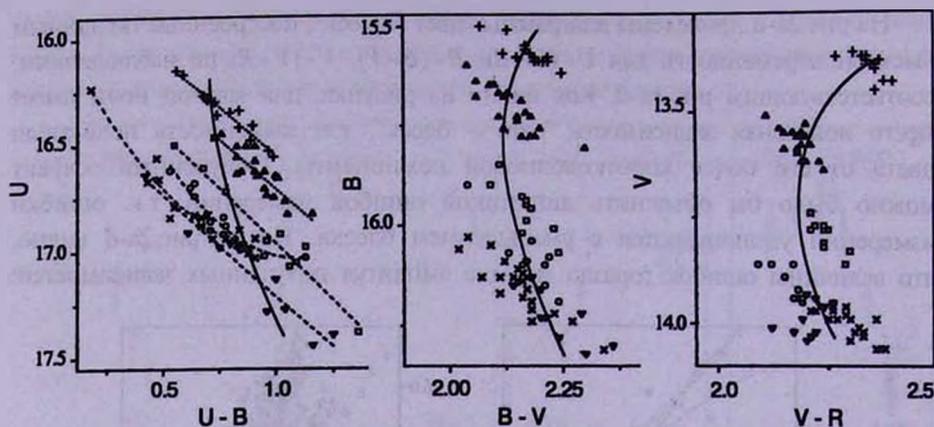
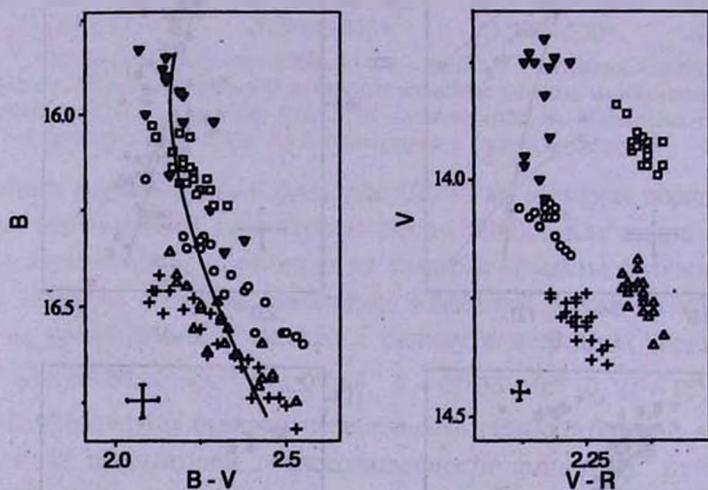
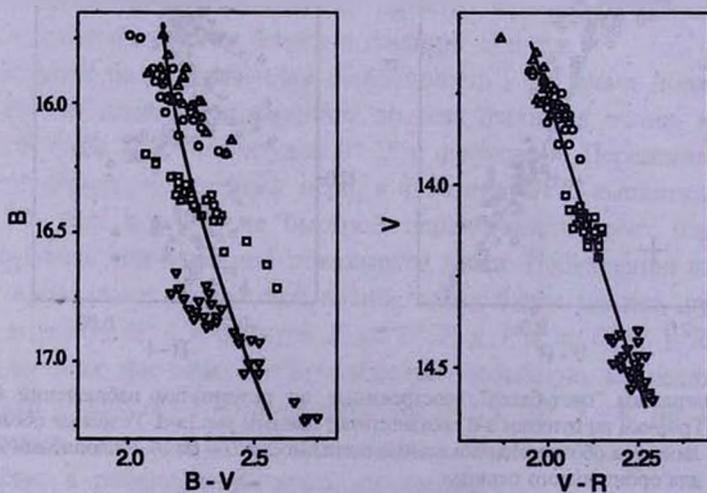


Рис.2. Диаграммы "цвет-блеск", построенные по результатам наблюдений быстрой переменности. Графики по пунктам а-d соответствуют данным рис.1а-d. Условные обозначения: Пунктирными линиями обозначены локальные зависимости $U-(U-B)$. Сплошными линиями - зависимости для орбитального периода.

а) JD2446000+ 581 - \circ , 582 - Δ , 583 - \square , 587 - ∇ , 588 - \times , 589 - $+$

Рис.2b. JD2446000+ 939 - O, 940 - Δ , 941 - +, 944 - ∇ , 947 - x, 951 - \square Рис.2c. JD2447000+ 759 - O, 760 - Δ , 761 - +, 767 - ∇ , 768 - \square Рис.2d JD2448000+ 57 - O, 58 - Δ , 60 - \square , 61 - ∇

Кривые зависимостей для каждой отдельной ночи удовлетворительно аппроксимируются полиномом 2-ой степени и показывают следующие коэффициенты корреляции: в среднем наибольший коэффициент корреляции имеет зависимость $U-(U-B)$ - 0.9, затем $B-(B-V)$ - 0.8, и $V-(V-R)$ - 0.7. Все диаграммы имеют общий характерный признак - при увеличении блеска цвет объекта становится более голубым. Как видно из рис.2, диапазон изменений показателей цвета в течение одной ночи растет от $V-R=0^m.15$, $B-V=0^m.4$ до $U-B=0^m.7$. Диаграмма $U-(U-B)$ наиболее устойчива, даже по 3-5 точкам, полученным за одну ночь, строится уверенная зависимость. Надо отметить существенную деталь: во время вспышки (рис.2b) JD 2446940-41 во всех фильтрах сохраняется быстрая переменность, а характер зависимости "цвет - блеск" остается таким же, как и в спокойном состоянии.

Зависимость "цвет - блеск" иногда пропадает для показателя $V-R$, например, в JD 2446944 ($\phi = 0.58$) и во время небольшой вспышки во вторичном минимуме JD 2447767 ($\phi = 0.48$), при этом рост блеска сопровождается необычной корреляцией во всех фильтрах. На диаграмме $B-(B-V)$ наблюдается быстрый переход от одного уровня блеска к другому. В обоих случаях объект находился в состоянии активности. Зависимости $U-(U-B)$, $B-(B-V)$ для быстрой переменности практически всегда имеют место и свой характер не меняют. По имеющимся данным по быстрой переменности, зависимости типа $V-(U-B)$ или $V-(B-V)$ не обнаружены.

Из общих соображений наличие зависимостей показателя цвета от его коротковолновой компоненты объясняется тем, что амплитуда колебаний блеска при быстрой переменности является функцией длины волны, т.е. с уменьшением длины волны увеличивается амплитуда блеска. В связи с этим фактом интересно отметить существование аналогичной зависимости степени поляризации оптического излучения SS 433 от длины волны [10]. Два факта: рост амплитуды быстрой переменности с уменьшением длины волны и зависимость изменений показателей цвета от голубой компоненты свидетельствуют о существовании быстропеременного и горячего источника излучения. Так как быстрая переменность присутствует во всех фазах орбитального периода (даже в моменты глубоких минимумов), можно заключить, что источник быстрой переменности не затмевается, во всяком случае, полностью, поэтому область ее формирования должна находиться, как минимум, на расстоянии 10^{12} см, что соответствует размеру оболочки вокруг аккреционного диска. Верхнюю границу можно оценить как 10^{13} см - размер общей оболочки SS 433.

4. *Орбитальный период.* Подробная *UBVRI* - фотометрия проводилась в основном для прецессионной фазы ТЗ, поэтому изменения показателей цвета с орбитальной фазой хорошо известны именно для этой фазы прецессии. В работе [11] обнаружена линейная зависимость показателей

цвета $U-V$, $B-V$, $V-R$ от блеска системы в полосе V , в диапазоне $14^m-14^m.6$, т.е. в спокойном состоянии при прохождении главного минимума в момент ТЗ увеличивается не только показатель $V-R$, но и $B-V$, $U-V$, что связывают с затмением горячего источника излучения. По данным более ранних наблюдений 1979-81гг. [1] и [3], показатель цвета $B-V$ переменность с орбитальной фазой не испытывал и был постоянным в пределах $0^m.1$, в то время как $U-V$ менялся с орбитальным периодом. Подобный результат для прецессионной фазы в районе ТЗ был получен Шаховским и Сазоновым [12]. Поиск зависимостей показателей $U-V$ и $B-V$ от блеска в полосе V , предпринятый в работе [2] на базе фотометрических данных, результатов не дал.

Как видно из рис.2а,d последовательности, построенные по данным мониторинга одной ночи, составляют в свою очередь аналогичную зависимость для орбитального периода. Зависимость "цвет - блеск" для 13-дневного периода в спокойном состоянии имеет тот же характер, что и для быстрой переменности - с увеличением блеска коротковолновой компоненты показатели цвета уменьшаются. Изменения всех показателей цвета в пределах орбитального периода примерно одинаковы $0^m.15-0^m.20$. Изменения показателя цвета $R-I$ остаются практически в одних пределах, вне зависимости от вариаций в фильтре R , а сама диаграмма $R-(R-I)$ выглядит как размытое облако (рис.2а). В отдельные ночи появляется зависимость $R-(R-I)$, но с другим наклоном.

Надо отметить, что диаграммы на рис.2а,d относятся к спокойному состоянию SS 433, при этом "однодневные" последовательности отличаются от орбитальной большей степенью зависимости от блеска. Например, линейный коэффициент k для локальных последовательностей $B-(B-V)$ (рис.2а) имеет значения в диапазоне 0.65-0.95, а для орбитальной зависимости - 0.26. На рис.2б,с показано поведение SS 433 в активном состоянии - характер "однодневных" последовательностей практически не изменился, а вот орбитальные зависимости стали смещаться в область больших значений показателя цвета. Эта тенденция наиболее заметна для цвета $V-R$ (т.к. амплитуда блеска, вызванная орбитальным движением, немного больше амплитуды быстрой переменности) и также явно присутствует в поведении цвета $U-V$. Диапазон изменений показателя $B-V$ остается в пределах, характерных для внезатменного положения. Состояние активности оказывает различное влияние на соответствующие диаграммы: если зависимость $V-(V-R)$ полностью смещается вправо, т.е. в красную область и $V-R$ увеличивается на $0^m.25$, то в диаграммах $U-(U-V)$ и $B-(B-V)$ лишь верхняя часть кривой, соответствующая более яркому блеску, отклоняется в область больших показателей цвета. Зависимость $V-(V-R)$ уже достаточно известна и описана в [1] и [2] для различных состояний активности объекта, в отличие от зависимостей $U-(U-V)$ и $B-(B-V)$, которые ранее обнаружены не были.

Итак, в районе прецессионной фазы ТЗ, в спокойном состоянии показатели $U-B$, $B-V$, $V-R$ коррелируют с орбитальной фазой, при этом наибольшую корреляцию ($R=0.95$) имеет показатель $V-R$. Амплитуда переменности показателей $U-B$ и $B-V$ в течение ночи существенно превышает амплитуду, связанную с 13-дневной переменностью, поэтому корреляция этих показателей с орбитальным периодом проявляется не так ярко. В моменты Т1 и Т2 (когда аккреционный диск виден с ребра) показатели цвета $U-B$ и $B-V$ с орбитальным периодом практически не коррелируют, но при этом все равно строится зависимость "цвет - блеск" (см. следующий раздел). Само наличие такого характера зависимостей "цвет - блеск" отражает тот факт, что для орбитальной переменности, так же, как и для быстрой переменности, амплитуда изменений блеска в синем конце оптического спектра всегда больше, чем в красном, а изменения в показателях цвета зависят от колебаний блеска в соответствующем более коротковолновом участке спектра. Для орбитальной переменности это правило нарушается в период вспышечной активности.

5. *Зависимость орбитальных диаграмм "цвет - блеск" от фазы прецессии.* На рис.3а приведены диаграммы "цвет - блеск" по средним оценкам SS 433 за 1988-90гг. [7]. Каждая зависимость $B-(B-V)$, $V-(V-R)$ построена для определенной фазы прецессии $\psi = 0.0$ (ТЗ); 0.34, 0.66 (Т1, Т2); 0.5. Диаграммы построены по наблюдениям в спокойном состоянии и каждая точка соответствует средней оценке блеска SS 433 в ночь. Как видно из рисунка, диаграмма $B-(B-V)$ распадается на семейство зависимостей, с характерным признаком - при увеличении блеска в полосе B показатель цвета $B-V$ уменьшается. Существенная деталь - все зависимости сходятся в нижней части диаграммы, соответствующей наименьшему значению блеска в полосе B , что можно прокомментировать как проявление оптической звезды. Диапазон изменения $B-V$ в среднем от $1^m.6$ до $2^m.6$ и не зависит от фазы прецессии. Прецессия влияет лишь на уровень блеска в полосе B .

Зависимости $V-(V-R)$ для разных фаз прецессии практически сливаются в единую зависимость. Диапазон изменений показателя цвета $V-R$ от $1^m.8$ до $2^m.6$. Здесь хорошо видны основные прецессионные изменения в полосе V : в момент ТЗ объект имеет наибольший блеск и наиболее голубой цвет $V-R$, в фазе $\psi=0.5$ - наименьший блеск и наиболее красный цвет. В моменты Т1 и Т2 изменения в цвете и блеске являются как бы промежуточным звеном между моментами ТЗ и $\psi=0.5$.

Если на диаграммах оставить только точки, соответствующие фиксированному положению объекта в элонгациях $\phi = 0.15 + 0.35$, $\phi = 0.65 + 0.85$, то можно убедиться, что покраснение объекта с уменьшением блеска в масштабах орбитального периода вызвано не только затмениями.

Как видно из рис.3б, точки с наибольшими значениями показателя цвета и наименьшим блеском исчезли с диаграмм только для момента прецессии ТЗ. На диаграммах для остальных фаз прецессии уменьшилось лишь количество точек, в то время как пределы изменений показателей цвета и блеска остались почти такими же. Очевидно, что понижение блеска и покраснение в элонгациях довольно сложно объяснить, исходя из соображений геометрии. Поэтому явление покраснения с уменьшением блеска у SS 433 можно считать неким постоянным свойством.

Очевидна разница в поведении показателей $B-V$ и $V-R$ при прецессионных изменениях блеска, откуда следует, что показатели цвета

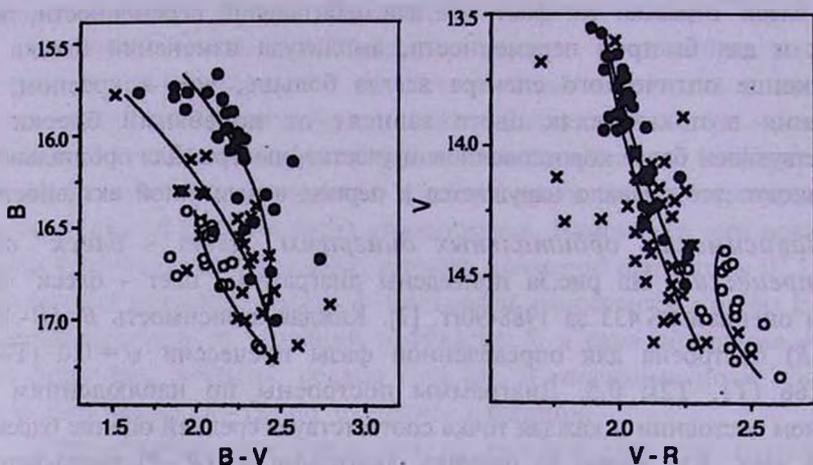


Рис.3а. Диаграммы "цвет-блеск", построенные по средним за ночь оценкам для фаз прецессии $\psi = 0$; $\psi = 0.34, 0.66$; $\psi = 0.5$. ● - наблюдения в прецессионной фазе $\psi = 0.0$; × - $\psi = 0.34, 0.66$; ○ - $\psi = 0.5$.

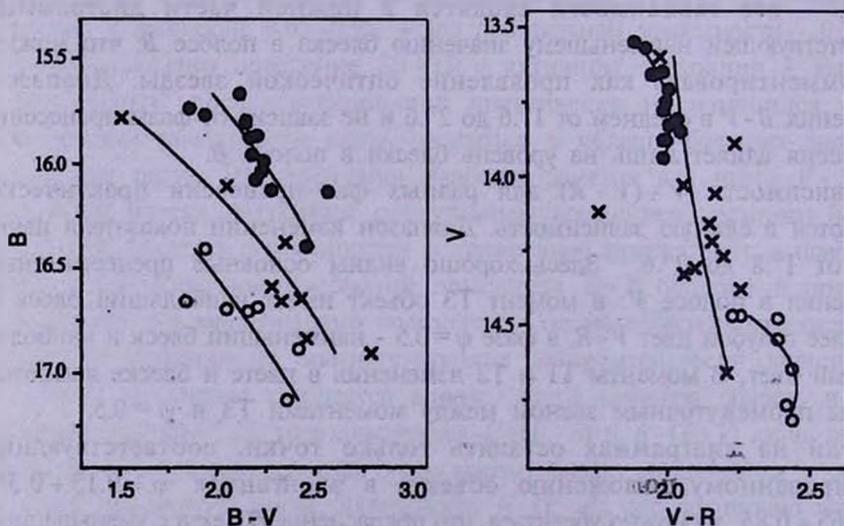


Рис.3б. Диаграммы "цвет - блеск" для тех же фаз прецессии в моменты элонгаций. Обозначения те же, что на рис.3а.

формируются различными источниками. При этом цвет наиболее голубого источника не зависит от прецессионной фазы в отличие от красного. Прецессионные изменения блеска имеют лишь геометрическую, а не физическую причину, следовательно красный компонент можно связать с оболочкой вокруг аккреционного диска, а голубой компонент - с горячими областями в местах выхода релятивистских джетов из-под фотосферы аккреционного диска. Разделение области, излучающей в оптическом диапазоне, на красный и голубой компоненты предлагается и в работе [2]. Правда, авторы не конкретизируют локализацию обоих компонентов в системе. В результате анализа спектральных данных в работе [11] возникла идея о горячих газовых коконах HeII вокруг основания релятивистских струй в области их появления из-под фотосферы аккреционного диска.

Кривые зависимостей одинаковых показателей цвета для различных фаз прецессии имеют различные параметры, поэтому если проводить анализ без предварительной сортировки данных по фазам прецессии, то получается неопределенной формы облако, особенно это касается диаграммы $B - (B - V)$.

6. **Заключение.** Из анализа многоцветных фотометрических наблюдений SS 433 получены следующие результаты:

1. Наличие и одинаковый характер зависимостей "цвет-блеск" для разномасштабных по времени колебаний блеска свидетельствуют о существовании быстропеременного горячего источника, который является доминантой оптического излучения и виден в полосах UBV . Голубой компонент пространственно жестко связан с джетами как результат сложной цепочки взаимодействий релятивистской струи с фотосферой аккреционного диска.

2. В системе присутствует и второй, более красный компонент, излучающий в RI , который имеет более протяженную структуру.

3. Эти выводы приводят к морфологической модели SS 433, предложенной Липуновым и Шакурой в 1982г. [13]. Согласно этой модели, аккреционный диск практически находится внутри фотосферы, а земной наблюдатель видит квазисферическую звезду с двумя прецессирующими пятнами. Горячие пятна образуются при взаимодействии струй с оболочкой.

Автор выражает благодарность С.Н.Фабрике за полезные советы и конструктивное обсуждение результатов.

Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга МГУ,
Крымская лаборатория, Россия - Украина

ANALYSIS OF MULTI-COLOR PHOTOMETRIC OBSERVATIONS OF SS 433

T.R.IRSMAMBETOVA

Rapid photometric *BVR* observations (during 12 nights) of SS 433 performed in 1989-90 at Mount Maidanak are presented. Color indices $U-B$, $B-V$, $V-R$ variations analysis has been made from multi-color photometric data in different time scales. It has been found that there are relations "color-magnitude" $U-(U-B)$, $B-(B-V)$ for both rapid and orbital variability, similar to the well-known relation $V-(V-R)$ with typical indication - the color of SS 433 becomes more blue, when brightness of short-wave component increases. It has been shown that the object's reddening with decreasing brightness is caused not only by eclipses but also by own variability. The behaviour of color indices can be explained by interaction of the relativistic jets with photosphere around accretion disk.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.А.Гладышев, Астрон. циркуляр, No 1138, 1980.
2. В.П.Горанский, В.Ф.Есилов, А.М.Черепашук, Астрон. ж., 75, 383, 1998.
3. E.M.Leibowitz, T.Mazeh, H.Mendelson, J.C.Kemp, M.S.Barbuor, K.Takagishi, J.Jugaku, M.Matsuoka, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 206, 751, 1984.
4. В.П.Горанский, И.М.Копылов, В.Ю.Рахимов, Н.Б.Борисов, Л.В.Бычкова, С.Н.Фабрика, Г.П.Чернова, Сообщ. САО, No52, 5, 1987.
5. С.А.Гладышев, В.П.Горанский, Н.Е.Курочкин, А.М.Черепашук, Астрон. циркуляр, No1145, 1980.
6. А.А.Aslanov, А.М.Cherepashchuk, V.P.Goranskij, V.Yu.Rakhimov, R.C.Vermeulen, Astron. Astrophys., 270, 200, 1993.
7. Т.Р.Ирсмамбетова, Письма в Астрон. ж., 23, 341, 1997.
8. И.М.Копылов, Р.Н.Кумайгородская, Н.Н.Сомов, Т.А.Сомова, С.Н.Фабрика, Астрон. ж., 63, 690, 1986.
9. Г.М.Бескин, С.И.Неизвестный, А.А.Пимонов, В.Л.Плахотниченко, С.Н.Фабрика, В.Ф.Шварцман, Астрофиз. исслед. Изв. САО, 20, 72, 1985.
10. J.F.Dolan, P.T.Boyd, S.N.Fabrika, S.Tapia, V.Buchkov, A.A.Panferov, M.J.Nelson, J.W.Percival, G.W.Citters, D.C.Taylor, M.J.Taylor, Astron. Astrophys., 327, 648, 1997.
11. В.П.Горанский, С.Н.Фабрика, В.Ю.Рахимов, А.А.Панферов, А.Н.Белов, Л.В.Бычкова, Астрон. ж., 74, 740, 1997.
12. Н.М.Шаховской, А.Н.Сазонов, Письма в Астрон. ж., 22, 580, 1996.
13. В.М.Липунов, Н.И.Шакура, Астрон. ж., 59, 632, 1982.

УДК: 524.354.4

РЕЛАКСАЦИЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ПУЛЬСАРА VELA
ПОСЛЕ ЕГО ПЕРВЫХ ВОСЬМИ СКАЧКОВ

Д.М.СЕДРАКЯН, М.В.АЙРАПЕТЯН

Поступила 11 декабря 2000

Проведено сравнение теории релаксации угловой скорости пульсаров с наблюдательными данными для первых восьми скачков пульсара Vela. Получены решения обратной задачи в теории релаксации в областях экспоненциальной и линейной релаксации в ядре нейтронной звезды. Из этих решений найдено распределение вихрей, которое приводит к наблюдаемой релаксации угловой скорости пульсара. Показано, что в области экспоненциальной релаксации главную роль играет пиннинг нейтронных вихрей, а в области линейной релаксации необходимо учесть изменение угловой скорости сверхтекучей компоненты.

1. *Введение.* На сегодняшний день наблюдения радиопулсаров являются единственным источником информации о состоянии материи внутри этих компактных объектов. Известно, что угловая скорость вращения пульсаров, наряду с вековым изменением порядка $|\dot{\Omega}/\Omega \approx 10^{-13} + 10^{-15} \text{ с}^{-1}$, претерпевает также нерегулярные изменения в виде скачков и микроскачков порядка $\Delta\Omega/\Omega \approx 10^{-6} + 10^{-9}$. Как показывают более детальные наблюдения, скачку пульсара следует релаксация угловой скорости к своему предскачковому значению с характерными временами от нескольких дней до нескольких сот дней. Наиболее подробно изучено поведение угловой скорости пульсаров Vela и Crab, для которых накоплено большое количество наблюдательных данных [1-5].

Пулсары отождествляются с нейтронными звездами - компактными объектами, устойчивая конфигурация которых обусловлена давлением нейтронов. Нерегулярное поведение угловой скорости пульсаров с дальнейшей релаксацией указывает на наличие слабосвязанной сверхтекучей компоненты внутри нейтронной звезды. В сверхтекучее состояние переходят нейтроны в "Aep"- и "пре"- фазах, а также протоны в "пре"- фазе (ядре) нейтронной звезды при температуре $10^8 - 10^9$ К. При вращении звезды в нейтронной сверхтекучей жидкости возникает решетка квантованных вихревых нитей. В ряде работ нерегулярности угловой скорости вращения пульсаров объяснены с точки зрения динамики движения нейтронных вихрей в "Aep"- фазе звезды [6-11]. Так, в теории "криппа" вихрей [6-8] предполагается, что нейтронные вихри полностью пиннингованы к ядрам твердой коры. Медленное термически - активизированное движение вихрей между ядрами при температуре $T \approx 10^8$ К связывает сверхтекучую компоненту с заряженной

нормальной компонентой. Перераспределение момента количества движения между сверхтекучей и нормальной компонентами обеспечивает релаксацию угловой скорости, которая наблюдается после скачка пульсара. Однако эта теория сталкивается с такими трудностями, как большая неопределенность параметров пиннинга и нехватка моментов инерции областей релаксации [19]. В теории, развитой в [9-12], принята противоположная точка зрения о движении вихрей в "Aep"- фазе нейтронной звезды. Из-за большой жесткости вихри в основном свободны и движутся с малым трением, обусловленным взаимодействием между вихрем и решеткой ядер "Aep"- фазы. Полученные времена релаксации в рамках этой теории совпадают с характерными наблюдаемыми временами пульсара Vela. Однако все теории, развитые на основе динамики движения вихревой решетки в "Aep"- фазе, по-видимому, несостоятельны из-за малого значения силы пиннинга для накопления необходимого количества вихрей для объяснения скачка [12].

Более приемлемая теория, согласующаяся с наблюдательными данными, была предложена в работах [13-15], где временные нерегулярности угловой скорости пульсаров связываются с динамикой движения вихрей в "pre"- фазе нейтронной звезды. Эффект увлечения сверхпроводящих протонов сверхтекучей нейтронной жидкостью приводит к возникновению нейтронно-протонного вихревого кластера с магнитным полем порядка 10^{14} Гс. Взаимодействие между движущейся сверхтекучей компонентой и нормальной компонентой - релятивистскими электронами - осуществляется рассеянием этих электронов на магнитном поле кластера. В результате любое неравновесное распределение плотности нейтронных вихрей, возникающей из-за скачка угловой скорости пульсара, релаксируется с характерными временами, охватывающими весь спектр наблюдаемых времен послескачкового поведения угловой скорости пульсара. Была получена система уравнений динамики движения сверхтекучей и нормальной компонент нейтронной звезды, на основе которой была развита теория релаксации угловой скорости пульсара Vela. Обобщение теории релаксации в рамках ОТО в Ω - приближении проводилось в работах [16-18]. Такое рассмотрение позволило найти характерные времена релаксации и решения уравнений динамики вращения нейтронной звезды в искривленном пространстве с учетом поправок ОТО.

За почти 30 лет наблюдений накоплено большое количество данных о поведении угловой скорости пульсаров. Особенно подробно изучены скачки и послескачковая релаксация угловой скорости пульсара Vela, претерпевшей на сегодняшний день 13 скачков. Анализ наблюдательных данных для шести скачков пульсара Vela был проведен в работе [1]. Показано, что поведение угловой скорости пульсара после скачков можно представить в виде двух экспоненциальных (с характерными временами $\tau_1 \approx 6$ дней и $\tau_2 \approx 60$ дней) и одной линейной (с характерным временем $\tau_3 \approx 500$ дней) зависимостей. Сравнение теории релаксации угловой скорости пульсара Vela с

наблюдательными данными для шести скачков было проведено в работах [15,20,21]. Это позволило найти относительные моменты инерции областей, ответственных за релаксацию в квадратичном по угловой скорости приближении. На модели нейтронной звезды найдены также местоположения этих областей в ядре звезды. Результаты этих работ показывают, что развитая теория релаксации угловой скорости пульсаров на основе динамики движения сверхтекучей системы в ядре нейтронной звезды находится в хорошем согласии с наблюдениями для стандартных моделей нейтронных звезд.

Сравнение теории релаксации с наблюдениями проводилось в рамках трехслойной модели областей релаксации [15]. Считалось, что, например, релаксация угловой скорости пульсара с характерным временем τ_1 представляет собой отклик того слоя, среднее значение времени релаксации которого равно τ_1 . Однако в этих работах предполагается наличие активных и пассивных областей внутри каждого слоя. При замедлении вращения звезды существует некоторая разность между угловыми скоростями нормальной и сверхтекучей компонент $\Delta\Omega = \Omega_n - \Omega_e$. Обозначим $\Delta\Omega^0$ стационарное значение этой величины. Так как заряженная нормальная компонента сильно связана с корой звезды, то во время скачка угловая скорость нормальной компоненты меняется на величину скачка $\Delta\Omega_n$, и может меняться также угловая скорость сверхтекучей компоненты на величину $\Delta\Omega_e$, из-за возможного перераспределения вихрей. Если обозначить значение величины $\Delta\Omega$ непосредственно после скачка через $\Delta\Omega_0$, то имеем $\Delta\Omega_0 - \Delta\Omega^0 = \Delta\Omega_n - \Delta\Omega' + \Delta\Omega_e$, где $\Delta\Omega'$ - отклонение Ω_n от стационарного значения, которое может накапливаться при движении вихрей из-за пиннинга к границе раздела между "pre"- и "Aep"- фазами за время между двумя последовательными скачками. В работе [15] считалось, что угловая скорость сверхтекучей компоненты не меняется во время скачка, т.е. $\Delta\Omega_e = 0$, в активных областях принималось $\Delta\Omega' = 0$, а в пассивных - $\Delta\Omega' = \Delta\Omega_e$. После этого в активных областях происходила релаксация, причем среднее значение времени релаксации активной области должно было соответствовать наблюдаемому характерному времени угловой скорости пульсара. В пассивных областях должно было создаваться такое распределение вихрей между двумя последовательными скачками пульсара, которое соответствовало бы одинаковому темпу замедления угловых скоростей сверхтекучей и нормальной компонент: $\dot{\Omega}_n = \dot{\Omega}_e$, следовательно эти области не могли участвовать в релаксации. Однако такое разделение областей в ядре звезды весьма условно, так как условия пиннинга не должны сильно меняться внутри каждого слоя, следовательно необходимо учесть влияние всего слоя на процесс релаксации. Для этого необходимо предложить новые математические методы сравнения теории релаксации угловой скорости пульсаров с наблюдениями.

Цель данной статьи - отстранить, на наш взгляд, необоснованное разделение слоев на активные и пассивные подслои, как в работе [15], и

в рамках решения обратной задачи найти распределение вихрей внутри каждого слоя непосредственно после скачка угловой скорости звезды из наблюдательных данных величины $\dot{\Omega}_e(t)$. Это позволит выяснить закономерности поведения эффектов пиннинга и депиннинга нейтронных вихрей и ответить на вопрос, могут ли эти явления привести к такому распределению вихрей в зоне релаксации между двумя последовательными скачками, которое привело бы к наблюдаемому поведению угловой скорости пульсара, или же необходимо учесть перераспределение вихрей во время скачка.

Динамика движения двухкомпонентной сверхтекучей жидкости рассматривается в ньютоновском приближении, однако времена релаксации и момент инерции областей релаксации с учетом поправок ОТО - в квадратичном по угловой скорости приближении. Вращение звезды аксиально - симметричное, а поведение сверхтекучей жидкости рассматривается в гидродинамическом приближении.

2. *Уравнения движения.* Уравнения, описывающие динамику вращения двухкомпонентной сверхтекучей системы в ядре нейтронной звезды с учетом пиннинга и депиннинга нейтронных вихрей, имеют вид [22]:

$$I_e \frac{d\Omega_e}{dt} + \frac{d}{dt} \int \Omega_s dI_s = -K_{ext}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \Omega_s}{\partial t} = -v_0 [n - n_p] k (\Omega_s - \Omega_e), \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial r} (r^2 \Omega_s) = v_0 n r, \quad (3)$$

$$\frac{\partial n_p}{\partial t} = \frac{n - n_p}{\tau_p} - \frac{n_p}{\tau_d}, \quad (4)$$

где Ω_e , I_e и Ω_s , I_s - угловые скорости и момент инерции нормальной и сверхтекучей компонент соответственно, K_{ext} - внешний тормозящий момент сил, действующих на звезду; $n(r)$ и $n_p(r)$ - значения плотности вихрей и пиннингованных вихрей в точке r ; τ_p и τ_d - характерные времена пиннинга и депиннинга нейтронных вихрей; $v_0 = h/2 m_n$, где m_n - масса нейтрона, а величина k определена согласно [13]:

$$k = \frac{v_0 \rho_s / \eta(r)}{1 + \left(\frac{v_0 \rho_s - \beta(r)}{\eta(r)} \right)^2},$$

где $\eta(r)$ и $b(r)$ - продольная и тангенциальная компоненты коэффициента трения нейтронного вихря с нормальной компонентой звезды, ρ_s - плотность вещества сверхтекучей компоненты. Если ввести обозначение $\Delta\Omega = \Omega_s - \Omega_e$, уравнения (1) и (2) можно преобразовать к виду:

$$\frac{d\Omega_e}{dt} + \frac{p_0}{1 + p_0} \int_0^1 \frac{\partial \Delta\Omega}{\partial t} dy = -\gamma_1, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \Delta \Omega}{\partial t} + \Delta \Omega v_0 [n - n_p] \kappa = -\frac{d \Omega_e}{dt}, \quad (6)$$

где $p_0 = I_s / I_e$ - относительный момент инерции сверхтекучей области, $\gamma_1 = K_{ext} / I_e (1 + p_0)$.

Как было показано в [15,18], в ядре нейтронной звезды существуют две существенно различные области. В первой из них время релаксации звезды τ меньше времени жизни пульсара τ_0 ($\tau_0 \approx 10^4$ лет для пульсара Vela), во второй же области имеем $\tau \geq \tau_0$. Обозначим относительный момент инерции в первой из областей λp_0 . В этой области в течение времени жизни пульсара должно создаваться такое распределение вихрей, что угловые скорости Ω_s и Ω_n сверхтекучей и нормальной компонент имеют одинаковый темп замедления под воздействием внешнего тормозящего момента сил, т.е. $\dot{\Omega}_s = \dot{\Omega}_n$, следовательно $\partial \Delta \Omega / \partial t = 0$ в этой области. Будем считать, что $\Delta \Omega$ меняется только в той части этой области, которая ответственна за скачок и послескачковую релаксацию угловой скорости пульсара. Обозначим относительный момент инерции этой части как μp_0 , причем $\mu \ll \lambda < 1$ [18]. Во второй же области распределение вихрей не меняется в течение жизни пульсара, т.е. $\Omega_s = \text{const}$, и, следовательно, $\frac{\partial \Delta \Omega}{\partial t} = -\frac{d \Omega_e}{dt}$ в этой области. Тогда уравнение (5) можно привести к следующему виду:

$$\frac{d \Omega_e}{dt} + \frac{p_0}{1 + \lambda p_0} \int_0^\mu \frac{\partial \Delta \Omega}{\partial t} dy = -\gamma_2, \quad (7)$$

где $\gamma_2 = \gamma_1 (1 + p_0) / (1 + \lambda p_0)$.

Из совместного решения уравнений (3), (4) и (6) при относительно малых скачках угловой скорости пульсара и при $\mu \ll 1$ для $\Delta \Omega$ получаем [22]:

$$\Delta \Omega - \Delta \Omega_0 = [\gamma_2 \tau (1 + \alpha) - \Delta \Omega_0] \left(1 - e^{-t/\tau} \right), \quad (8)$$

где $\tau = 1/2 k \Omega_e(0)$ - время релаксации, $\alpha = \tau_d / \tau_p$. Подставляя (8) в (7), получим выражение для $\dot{\Omega}_e(t)$ после скачка:

$$\dot{\Omega}_e(t) = -\frac{p_0}{1 + \lambda p_0} \int_0^\mu [\gamma_2 \tau (1 + \alpha) - \Delta \Omega_0] \frac{e^{-t/\tau}}{\tau} dy - \gamma_2. \quad (9)$$

Перейдем к нахождению начального условия $\Delta \Omega_0$. За время t_s между скачками величина $\Delta \Omega$ будет иметь значение, определяемое из (8) при $t = t_s \gg \tau$:

$$\Delta \Omega(r, t_s) = \gamma_2 \tau (1 + \alpha_1), \quad (10)$$

где $\alpha_1(r)$ - значение $\alpha(r)$ перед скачком угловой скорости. Запишем следующее тождество:

$$\Delta \Omega(r, t_s) - \Delta \Omega_0 = [\Omega_s(r, t_s) - \Omega_s(0)] + [\Omega_e(0) - \Omega_e(t_s)] = -\Delta \Omega_s + \Delta \Omega_e, \quad (11)$$

где $\Delta \Omega_s$ и $\Delta \Omega_e$ - величины скачка сверхтекучей и нормальной компонент соответственно. Из (11) и (10) для начального условия $\Delta \Omega_0$ получаем:

$$\Delta \Omega_0 = \Delta \Omega(r, t_s) + \Delta \Omega_s - \Delta \Omega_e = \gamma_2 \tau (1 + \alpha_1) + \Delta \Omega_s - \Delta \Omega_e. \quad (12)$$

Если ввести обозначение

$$\Delta\Omega' = \gamma_2 \tau \Delta\alpha, \quad (13)$$

где мы предположили, что величина $\alpha(r)$ может меняться после каждого скачка, а $\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$, тогда для значения $\dot{\Omega}_e(t)$ и для отклонения $\ddot{\Omega}_e(t)$ от своего стационарного значения получаем:

$$\dot{\Omega}_e(t) = -\frac{p_0}{1 + \lambda p_0} \int_0^\mu (\Delta\Omega_e - \Delta\Omega' - \Delta\Omega_s) \frac{e^{-t/\tau}}{\tau} dy - \gamma_2, \quad (14)$$

$$\Delta\ddot{\Omega}_e(t) = -\frac{p_0}{1 + \lambda p_0} \int_0^\mu (\Delta\Omega_e - \Delta\Omega' - \Delta\Omega_s) \frac{e^{-t/\tau}}{\tau} dy, \quad (15)$$

Отметим, что если учесть только пиннинг вихрей, то можно получить эти же решения, где $\Delta\Omega'$ определяется не формулой (13), а из соотношения [23]:

$$\frac{t_s^2}{4\tau\tau_p} = \ln\left(1 + \frac{\Delta\Omega'}{\gamma_2\tau}\right). \quad (16)$$

3. *Сравнение с наблюдениями.* В работе [8] было показано, что, анализируя наблюдательные данные для восьми скачков угловой скорости пульсара Vela, можно найти интерполяционную формулу для величины $\Delta\dot{\Omega}_e(t)$ в следующем виде:

$$\Delta\ddot{\Omega}_e(t) = \sum_{j=1}^4 \Delta\ddot{\Omega}_{e,j}(t) = -\sum_{i=1}^3 a_i e^{-t/\tau_i} + At - B. \quad (17)$$

Значения величин a_i , τ_i , A , B наилучшей интерполяции для каждого скачка приведены в табл.1. Как видно из табл.1, поведение величины $\Delta\dot{\Omega}_e(t)$ после скачка можно описать тремя экспоненциальными кривыми со средними характерными временами $\tau_1 = 10$ часов, $\tau_2 \approx 3$ дня, $\tau_3 \approx 32$ дня и одной линейной зависимостью. В соответствии с этим мы полагаем, что послескачковое поведение угловой скорости пульсара представляет собой отклик четырех слоев в ядре нейтронной звезды: в первых трех среднее время релаксации равно наблюдаемому времени τ_p , а в четвертом - время релаксации порядка межскачковых времен.

Время релаксации τ звезды с учетом поправок ОТО было вычислено в работе [20] на основе уравнения состояния из [24]. При вычислении моментов инерции областей релаксации мы будем использовать одну из стандартных моделей нейтронной звезды с массой $M = 1.4 M_\odot$, радиусом $R = 10.13$ км, и полным моментом инерции $I = 1.156 \cdot 10^{45}$ гсм² [25]. Момент инерции сверхтекучей части составил $I_s = 9.85 \cdot 10^{44}$ гсм², а момент инерции области релаксации при $9.36 \text{ км} \leq r \leq 9.62 \text{ км}$ - порядка $I_r \approx 0.66 \cdot 10^{44}$ гсм².

Для сравнения теории с наблюдениями сначала перейдем в (15) от интегрирования по y к интегрированию по r .

$$\Delta\dot{\Omega}_e(t) = -\frac{1}{I_e + \lambda I_s} \left(\frac{dI_s}{dr} \right)_{\varphi R} \int_R^{R_0} (\Delta\Omega_e - \Delta\Omega' - \Delta\Omega_s) \frac{e^{-t/\tau}}{\tau} dr, \quad (18)$$

Таблица 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ (a_p, τ_p) И (A, B) ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ И ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТЕЙ РЕЛАКСАЦИИ ПОСЛЕ ПЕРВЫХ ВОСЬМИ СКАЧКОВ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ПУЛЬСАРА VELA, $\Delta\Omega_i$ - ВЕЛИЧИНА СКАЧКА, t_i - МЕЖСКАЧКОВОЕ ВРЕМЯ

a_1 (10^{-13} р.с $^{-2}$)	0.001	0.0002	0.0	0.0004	0.48	0.26	0.89	2.11
a_2 (10^{-13} р.с $^{-2}$)	1.98	6.13	1.64	4.77	3.92	5.8	4.71	6.8
a_3 (10^{-13} р.с $^{-2}$)	2.85	3.03	2.02	7.17	0.74	6.17	2.8	4.52
τ_1 (дни)	0.417	0.417	0.417	0.417	0.417	0.417	0.417	0.417
τ_2 (дни)	3.4	3.4	3.0	3.3	3.4	3.0	3.4	3.5
τ_3 (дни)	34.6	32.6	30.3	38.8	32.5	30.0	31.1	29.0
A (10^{-22} р.с $^{-3}$)	49.62	53.34	78.75	54.55	115.89	45.78	75.78	37.45
B (10^{-14} р.с $^{-2}$)	151.8	156.65	191.89	213.43	181.12	140.98	140.98	116.51
$\Delta\Omega_i$ (10^{-4} р.с $^{-1}$)	1.66	1.45	1.4	2.16	0.82	1.45	0.92	1.28
t_i (дни)	912	1491	1009	1227	272	1067	1261	907

где относительный момент инерции области $R \leq r \leq R_0$ равен μr_0 , значение времени релаксации при $r = R_0$ порядка нескольких часов, а при $r = R$ - порядка межскачковых времен. Отметим, что в формуле (18) мы из подинтегрального выражения вынесли величину $\left(\frac{dI_z}{dr}\right)_{cp}$, так как она слабо зависит от r . В решении (18) разделим область интегрирования на четыре части:

$$\Delta\dot{\Omega}_e(t) = -\frac{1}{I_e + \lambda I_z} \left(\frac{dI_z}{dr}\right)_{cp} \sum_{i=1}^4 \int_{R_i}^{R_{i-1}} (\Delta\Omega_e - \Delta\Omega'_i - \Delta\Omega_s) \frac{e^{-\frac{t}{\tau}}}{\tau} dr, \quad (19)$$

где $R_4 = R$. Из сравнения (17) и (19) получим интегральные уравнения:

$$c \int_{R_i}^{R_{i-1}} f(r) \frac{e^{-\frac{t}{\tau}}}{\tau} dr = a_i e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad i = 1, 2, 3, \quad (20)$$

$$c \int_R^{R_0} f(r) \frac{e^{-\frac{t}{\tau}}}{\tau} dr = -At + B, \quad (21)$$

где $f(r) = \Delta\Omega_e - \Delta\Omega'_i - \Delta\Omega_s$. Зная f , можно найти величину $\Delta\Omega'_i + \Delta\Omega_s$ в каждом слое при известном значении величины скачка $\Delta\Omega_i$. Здесь c имеет значение $c = 3.1 \cdot 10^{-6}$ см $^{-1}$.

Как известно, обратная задача определения величины $f(r)$ из интегральных уравнений (20) и (21) является некорректно поставленной [26] и требует особых методов решения. Это связано с тем, что правые части (20) и (21) являются приближенными, следовательно и решения этих уравнений будут приближенными и неоднозначными. Однако не каждое приближенное решение можно взять в качестве решения уравнений (20), (21), так как некоторые из них будут неустойчивыми. Необходим принцип отбора для нахождения устойчивых решений уравнений (20) и (21). Здесь мы использовали один из методов, описанный в [26].

Можно показать [26], что нахождение устойчивого решения интегральных уравнений (20), (21) эквивалентно нахождению условного минимума функционала $M_i[f]$, определенного на множестве приближенных решений следующим образом:

$$M_i[f] = q_i F_i[f] + \int_{t_{i-1}}^{t_i} \left| \hat{L}_i f - \Delta \tilde{\Omega}_{e,i}(t) \right|^2 dt, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (22)$$

при выборочном значении q_i . Здесь функционал $F_i[f]$ имеет вид:

$$F_i[f] = \int_{R_{i-1}}^{R_i} \{f^2(r) + f'^2(r)\} dr, \quad (23)$$

а интегральный оператор \hat{L}_i определяется как

$$\hat{L}_i f = -c \int_{R_{i-1}}^{R_i} f(r) \frac{e^{-\frac{t}{\tau}}}{\tau} dr. \quad (24)$$

Здесь промежуток времени $[t_{i-1}, t_i]$ определяет интервал времени послескачкового наблюдения, соответствующий характерному времени релаксации τ . Параметр невязки q_i определяется из условия выполнения равенства

$$\int_{t_{i-1}}^{t_i} \left| \hat{L}_i f - \Delta \tilde{\Omega}_{e,i}(t) \right|^2 dt = \delta_i^2 \quad (25)$$

с заданной точностью. Величина δ_i показывает, с какой точностью выражение (17) описывает поведение $\Delta \tilde{\Omega}_e(t)$ после скачка и оценивается как

$$\delta_i^2 = \varepsilon^2 \int_{t_{i-1}}^{t_i} \left| \Delta \tilde{\Omega}_{e,i}(t) \right|^2 dt, \quad (26)$$

где $\varepsilon \approx 0.002$ есть относительная погрешность величины $\Delta \tilde{\Omega}_e(t)$ при наблюдениях [1].

На рис.1 показана зависимость величины $\Delta \tilde{\Omega}_e - f = \Delta \Omega' + \Delta \Omega_s$ от r , найденная из решения уравнений (20) и (21) для первого скачка угловой скорости пульсара Vela. Область $9.36 \text{ км} \leq r \leq 9.47 \text{ км}$ на рис.1 ответственна за линейную релаксацию, а область $9.47 \text{ км} \leq r \leq 9.62 \text{ км}$ - за экспоненциальную. Этот результат согласуется с моделью [15], в которой "зона скачка" при $9.62 \text{ км} \leq r \leq 9.64 \text{ км}$ граничит с поверхностью ядра нейтронной звезды,

далее в глубь звезды расположены области экспоненциальной и линейной релаксации.

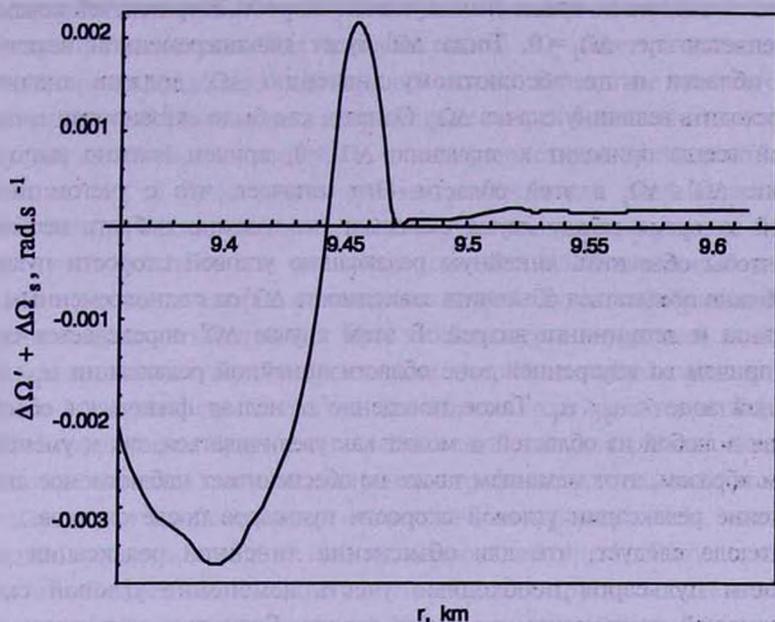


Рис.1. Зависимость величины $\Delta\Omega' + \Delta\Omega_s$ от r , найденная из решения обратной задачи для первого скачка угловой скорости пульсара Vela.

Перейдем к обоснованию полученного результата. Сначала рассмотрим область экспоненциальной релаксации. В этой области величина $\Delta\Omega' + \Delta\Omega_s$ положительна и достаточно близка величине скачка $\Delta\Omega_s$. Положительное значение величины $\Delta\Omega' + \Delta\Omega_s$ может быть обусловленным как пиннингом вихрей, для которого $\Delta\Omega' > 0$, так и увеличением угловой скорости сверхтекучей компоненты $\Delta\Omega_s > 0$, т.е. увеличением плотности распределения вихрей. Так как эта область близка к границе ядра нейтронной звезды, то в ней существенную роль, на наш взгляд, должен сыграть пиннинг вихрей. Это связано как с геометрией поверхности ядра [15], так и с взаимодействием нейтронных вихрей с магнитным полем в этой области [27]. Сказанное согласуется с тем, что в "зоне скачка" модели [15] $\Delta\Omega' \gg \Delta\Omega_s$, т.е. пиннинг играет решающую роль для объяснения скачка угловой скорости пульсара. Так как оценки пиннинга показывают, что $\Delta\Omega'$ может быть порядка и больше $\Delta\Omega_s$, то можно в этой области принять $\Delta\Omega_s \approx 0$. Как следует из вычислений, величина $\Delta\Omega'$ имеет малые нерегулярные осцилляции случайного характера в этой области. Такое поведение $\Delta\Omega'$ можно объяснить наличием случайных актов депиннинга нейтронных вихрей, а также малых случайных изменений плотности нейтронных вихрей.

В области линейной релаксации, как видно из рис.1, величина $\Delta\Omega' + \Delta\Omega_s$ имеет существенно разное поведение: во внутренней зоне при

9.36 км $\leq r \leq$ 9.44 км имеем $\Delta\Omega' + \Delta\Omega_2 < 0$, во внешней зоне при 9.44 км $\leq r \leq$ 9.47 км имеем $\Delta\Omega' + \Delta\Omega_2 > 0$. Для объяснения такого поведения сначала предположим, что во время скачка угловая скорость сверхтекучей компоненты не меняется: т.е. $\Delta\Omega_2 = 0$. Тогда $\Delta\Omega'$ будет знакопеременной величиной в этой области и по абсолютному значению $\Delta\Omega'$ должно значительно превосходить величину скачка $\Delta\Omega_2$. Однако, как было сказано выше, пиннинг вихрей всегда приводит к значению $\Delta\Omega' > 0$, причем должно выполняться условие $\Delta\Omega' \leq \Delta\Omega_2$ в этой области. Это означает, что с учетом пиннинга вихрей за время между двумя скачками невозможно набрать необходимое $\Delta\Omega'$, чтобы объяснить линейную релаксацию угловой скорости пульсаров.

Можно попытаться объяснить зависимость $\Delta\Omega'$ от r одновременным учетом пиннинга и депиннинга вихрей. В этом случае $\Delta\Omega'$ определяется согласно (13), причем во внутренней зоне области линейной релаксации $\alpha_2 > \alpha_1$, а во внешней зоне - $\alpha_2 < \alpha_1$. Такое поведение α нельзя физически обосновать, так как в любой из областей α может как увеличиваться, так и уменьшаться. Таким образом, этот механизм также не обеспечивает наблюдаемое линейное поведение релаксации угловой скорости пульсаров после скачков.

Отсюда следует, что для объяснения линейной релаксации угловой скорости пульсаров необходимо учесть изменение угловой скорости сверхтекучей компоненты во время скачка. Если положить здесь $\Delta\Omega' = 0$, то, как видно из рис.1, во внутренней зоне области линейной релаксации $\Delta\Omega_2 < 0$, а во внешней - $\Delta\Omega_2 > 0$. Так как изменение плотности распределения нейтронных вихрей пропорционально скачку угловой скорости сверхтекучей компоненты, то во внутренней зоне количество вихрей должно уменьшаться, а во внешней - увеличиваться. Это случится, если во время скачка произойдет переброс некоторого количества вихрей из внутренней зоны во внешнюю. Из графика зависимости $\Delta\Omega_2$ от r можно оценить изменения количества вихрей в каждой зоне. Эти значения по порядку величины совпадают. Относительное изменение плотности распределения вихрей в этих зонах порядка

$$\left(\frac{|\Delta n_s|}{n_s} \right)_{\text{сп}} = \left(\frac{|\Delta\Omega_s|}{\Omega_s} \right)_{\text{сп}} \approx 3 \cdot 10^{-5}.$$

4. *Заключение.* Как показывают наблюдения, релаксация угловой скорости пульсара Vela после восьми скачков в общих чертах имеет одинаковый характер. Для всех скачков поведение $\dot{\Omega}_s(t)$ можно описать тремя экспоненциальными кривыми и одной линейной зависимостью. При этом, как видно из табл.1, характерные времена релаксации имеют малые изменения от средних значений. Сравнения теории релаксации с наблюдениями в рамках решения обратной задачи показывают, что и для остальных скачков угловой скорости в ядре звезды можно выделить области экспоненциальной и линейной релаксации. В области экспоненциальной

релаксации основную роль играет пиннинг вихрей, для которого $\Delta\Omega' \approx \Delta\Omega$, и $\Delta\Omega \approx 0$. В этой области величина $\Delta\Omega'$ имеет также малые осцилляции, обусловленные депиннингом вихрей и малым изменением угловой скорости сверхтекучей компоненты. Для каждого скачка $\Delta\Omega$ имеет разные значения, следовательно и $\Delta\Omega'$ разное для каждого скачка. Вследствие этого в области экспоненциальной релаксации распределение вихрей будет меняться за время между двумя скачками, поэтому и характеристики экспоненциальной релаксации (a_p , τ_p) будут иметь разные значения для разных скачков. В области линейной релаксации необходимо учесть изменения угловой скорости сверхтекучей компоненты во время скачка. Необходимое изменение произойдет, если некоторое количество вихрей будет перебрасываться из внутренней зоны во внешнюю. При этом размеры внутренней и внешней зон, а также количество переброшенных вихрей из одной зоны в другую меняются в зависимости от скачка. Вследствие этого характеристики (A , B) линейной релаксации будут иметь разные значения для разных скачков.

В конце отметим, что мы получили графики зависимости величины $\Delta\Omega' + \Delta\Omega$ от r и для остальных семи скачков пульсара Vela, однако не приводим их здесь, так как их вид аналогичен рис.1. Такое сравнение теории с наблюдениями можно провести и для других (после восьмого) скачков угловой скорости пульсара Vela, если из наблюдений построить интерполяционную функцию для $\dot{\Omega}_e(t)$.

Ереванский государственный университет,
Армения

THE VELA PULSAR'S ANGULAR VELOCITY RELAXATION AFTER ITS FIRST EIGHT JUMPS

D.M.SEDRAKIAN, M.V.HAIRAPETIAN

The theory of relaxation of the pulsars angular velocity is compared with the observational data for the first eight jumps of the Vela pulsar. The inverse problem in the theory of relaxation is solved in the exponential and linear relaxation regions. From this solutions the vortex distribution has been found, which leads to the observed relaxation of the Vela pulsar angular velocity. It is shown that the pinning of vortex lines plays a main role in the exponential relaxation region, but it is necessary take into account the changes of angular velocity of the superfluid component in the linear relaxation region.

ЛИТЕРАТУРА

1. *J.M.Cordes, G.S.Downs, J.Krause-Polstorff*, *Astrophys. J.*, **330**, 841, 1988.
2. *A.G.Lyne*, *Nature*, **326**, 569, 1987.
3. *P.M.McCulloch, P.A.Hamilton, D.McConnel, F.A.King*, *Nature*, **346**, 822, 1990.
4. *C.S.Flanagan*, *Nature*, **345**, 416, 1990.
5. *A.G.Lyne, F.Graham-Smith, R.S.Pritchard*, *Nature*, **359**, 706, 1992.
6. *M.A.Alpar, P.W.Anderson, D.Pines, J.Shaham*, *Astrophys. J.*, **276**, 325, 1984.
7. *M.A.Alpar, H.F.Chou, K.S.Cheng, D.Pines*, *Astrophys. J.*, **409**, 345, 1993.
8. *M.A.Alpar, H.F.Chou, K.S.Cheng, D.Pines*, *Astrophys. J.*, **459**, 706, 1996.
9. *P.B.Jones*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **243**, 257, 1990.
10. *P.B.Jones*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **246**, 315, 1990.
11. *P.B.Jones*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **263**, 619, 1993.
12. *P.B.Jones*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **296**, 217, 1998.
13. *Д.М.Седракян, Д.М.Седракян*, *Ж. эксперим. и теор. физ.*, **102**, 71, 1992.
14. *A.D.Sedrakian, D.M.Sedrakian*, *Astrophys. J.*, **447**, 305, 1995.
15. *A.D.Sedrakian, D.M.Sedrakian, J.M.Cordes, Y.Terzian*, *Astrophys. J.*, **447**, 324, 1995.
16. *Д.М.Седракян*, *Астрофизика*, **40**, 403, 1997.
17. *D.Langlois, D.Sedrakian, B.Carter*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **297**, 1189, 1998.
18. *М.В.Айрапетян, Д.М.Седракян*, *Астрофизика*, **42**, 89, 1999.
19. *Д.М.Седракян, М.В.Айрапетян*, *Астрофизика*, **40**, 67, 1997.
20. *Д.М.Седракян, М.В.Айрапетян*, *Астрофизика*, **43**, 85, 2000.
21. *М.В.Айрапетян*, *Астрофизика*, **43**, 621, 2000.
22. *Д.М.Седракян, М.В.Айрапетян*, *Астрофизика*, **39**, 593, 1996.
23. *А.Д.Седракян, Д.М.Седракян*, *Ж. эксперим. и теор. физ.*, **108**, 631, 1995.
24. *R.V.Wiringa, V.Fiks, A.Fabrochini*, *Phys. Rev.*, **C**, **38**, 1010, 1988.
25. *F.Weber*, *Hadron Physics and Neutron Star Properties*, Habilitation Thesis, Univ. Munich, 1992.
26. *А.Н.Тихонов, В.Я.Арсенин*, *Методы решения некорректных задач*. М., Наука, 1986, с.с.15, 153.
27. *A.D.Sedrakian, J.Cordes*, *Astro - ph/9709277*.

УДК: 31.084

КВАРКОВЫЕ ЗВЕЗДЫ МАЛЫХ МАСС ИЛИ КВАРКОВЫЕ БЕЛЫЕ КАРЛИКИ

Г.Б.АЛАВЕРДЯН, А.Р.АРУТЮНЯН, Ю.Л.ВАРТАНЯН

Поступила 11 августа 2000

Принята к печати 15 ноября 2000

Рассматривается уравнение состояния, которое в сверхплотном ядерном веществе приводит к фазовому переходу первого рода от нуклонного состояния к кварковому с параметром перехода $\lambda > 3/2$ ($\lambda = \rho_Q / (\rho_N + \rho_0/c^2)$). Расчет интегральных параметров сверхплотных звезд на основе этого уравнения состояния показывает, что на устойчивой ветви зависимости массы звезды от центрального давления ($dM/dP_c > 0$) в области малых масс после образования зубцеобразного излома ($M = 0.08 M_\odot$, $R = 200$ км), обусловленного рождением кварков, образуется также новый локальный максимум с $M_{\text{max}} = 0.082 M_\odot$ и $R = 1251$ км. Для такой звезды масса и радиус кваркового ядра оказываются равными соответственно $M_{\text{ядр}} = 0.005 M_\odot$ и $R_{\text{ядр}} = 1.7$ км. В рассматриваемой модели аккреция вещества может привести к двум последовательным переходам в нейтронную звезду с кварковым ядром с энерговыделением, похожим на взрыв сверхновых.

1. *Введение.* Гипотеза о возможности образования странного кваркового вещества в сверхплотном ядерном веществе, высказанная Виттенем [1], стимулировала многочисленные работы, посвященные как проблеме перехода к такому состоянию и построению реалистического уравнения состояния, так и применению различных вариантов уравнения состояния для изучения компактных объектов, содержащих странное кварковое вещество [2-11]. Оказалось, что в зависимости от реализуемых в природе значений квантовохромодинамических (КХД) констант могут существовать два типа существенно отличающихся друг от друга звездных конфигураций - так называемые странные звезды, целиком состоящие из странного кваркового вещества, и гибридные звезды, содержащие одновременно нейтронное и странное кварковое вещество. С целью изучения функциональной зависимости структурных и интегральных параметров звездных конфигураций от вида уравнения состояния сверхплотного вещества нами был рассмотрен широкий набор реалистических уравнений состояния, обеспечивающих сосуществование нейтронного вещества со странной кварковой материей. В области малых масс ($M/M_\odot \sim 0.08$) было обнаружено, что одно из этих уравнений состояния приводит к появлению дополнительного локального максимума на кривой зависимости массы звезды M от ее центрального давления P_c , что обуславливает возможность существования нового семейства устойчивых равновесных звездных конфигураций с довольно интересными отличительными особенностями. В

центре таких звезд имеется кварковое ядро, а радиус звезды может достигать значений порядка 1000 км, что делает их похожими на белые карлики.

В этой работе мы ограничимся изучением гибридных звезд в случае реализации именно такого уравнения состояния, сконцентрировав наше внимание на область малых масс. Результаты более подробного сравнительного анализа функциональной зависимости свойств звезды от выбора уравнения состояния во всем возможном интервале изменения центрального давления будут опубликованы позднее.

При рассмотрении фазового перехода к кварковому веществу мы предполагали, что имеет место обычный фазовый переход первого рода, и при некотором значении давления P_0 , соответствующем сосуществованию двух фаз, плотность энергии и концентрация барионов претерпевают скачок. Предложенная Гленденнингом [8] смешанная фаза кваркового и ядерного веществ предполагает, в отличие от обычного фазового перехода первого рода, непрерывное изменение давления и плотности в области появления кварковой фазы. Если смешанная фаза энергетически предпочтительнее, то вместо фазового перехода первого рода имеют место два фазовых перехода второго рода, соответственно при плотностях начала и конца смешанной фазы.

В работе [9] показано, что учет локальной поверхностной и кулоновской энергий, появляющихся вследствие образования кварковых и ядерных структур смешанной фазы, приводит к возможности энергетической невыгодности образования смешанной фазы. Так, если поверхностное натяжение между кварковым и ядерным веществом достаточно велико, то появление смешанной фазы энергетически невыгодно. Нейтронная звезда тогда будет иметь ядро из чистого кваркового вещества и кору из ядерного вещества. В этом случае имеет место фазовый переход первого рода и две фазы сосуществуют.

При малых и средних значениях поверхностного натяжения кварковых структур появляется возможность существования смешанной фазы, содержащей кварковые образования разных конфигураций в виде каплеобразных, стержнеобразных и пластинообразных структур [10].

Неопределенность в значении поверхностного натяжения странного кваркового вещества в настоящее время не позволяет однозначно выяснить, какой из вышеуказанных вариантов реализуется в действительности. Ниже мы рассматриваем случай, предполагающий такое поверхностное натяжение, которое приводит к фазовому переходу первого рода с возможностью сосуществования двух фаз.

2. *Уравнение состояния.* Плотность вещества внутри нейтронной звезды меняется в достаточно большом интервале значений от нескольких г/см³ в периферии (оболочке) до 10¹⁵ г/см³ в центре. В настоящее время отсутствует единая теория, обеспечивающая адекватное описание состояния такого вещества, с учетом образования всевозможных конститuentов во всем

интервале значений плотности. Поэтому при построении уравнения состояния вещества нейтронной звезды обычно для разных интервалов значений плотности используют разные уравнения состояния, обеспечивая, конечно, непрерывность при переходе из одной области в другую.

2.1. *Нуклонное вещество (NM)*. В данной работе мы использовали следующие уравнения состояния для значений плотности ниже нормальной ядерной плотности:

$$7.86 \text{ г/см}^3 < \rho < 1.15 \cdot 10^3 \text{ г/см}^3, \quad (\text{FMT} \quad [12]),$$

$$1.15 \cdot 10^3 \text{ г/см}^3 < \rho < 4.3 \cdot 10^{11} \text{ г/см}^3, \quad (\text{BPS} \quad [13]).$$

Начиная с плотности $\rho_{\text{nd}} = 4.3 \cdot 10^{11} \text{ г/см}^3$ из-за испарения нейтронов из ядер состав вещества меняется, образуется так называемая *Аел*- структура и состояние описывается уравнением

$$4.3 \cdot 10^{11} \text{ г/см}^3 < \rho < 2.21 \cdot 10^{13} \text{ г/см}^3, \quad (\text{ВВР} \quad [14]).$$

В надъядерной области плотности было использовано протабулированное в работе [15] релятивистское уравнение состояния нейтронного вещества, рассчитанное с учетом двухчастичных корреляций на основе применения мезонно-обменного потенциала Бонна [16]. Это уравнение состояния обозначим через *WGW-Вопп*

$$3.56 \cdot 10^{13} \text{ г/см}^3 < \rho < 4.81 \cdot 10^{14} \text{ г/см}^3, \quad (\text{WGW-Вопп} \quad [15]).$$

Отметим, что при сшивании этого уравнения с уравнением состояния ВВР из последнего была отброшена перекрывающаяся область плотностей $2.98 \cdot 10^{13} \text{ г/см}^3 < \rho < 1.58 \cdot 10^{14} \text{ г/см}^3$.

Приведенные уравнения состояния, охватывающие в совокупности область плотностей $7.86 \text{ г/см}^3 < \rho < 4.81 \cdot 10^{14} \text{ г/см}^3$, описывают вещество нейтронной звезды, имеющей нуклонную структуру.

Для исследования фазового перехода необходимо знать зависимость химического потенциала бариона μ_b от давления P , т.е. функцию $\mu_b^{(NM)}(P)$, или зависимость энергии на барион ε от плотности барионов $n - \varepsilon^{(NM)}(n)$. С этой целью к табулированным значениям величин P , ρ , n были добавлены значения величин

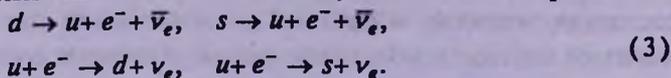
$$\mu_b^{(NM)}(P) = n \frac{\partial \rho c^2}{\partial n} - \rho c^2 = \frac{P + \rho c^2}{n}, \quad (1)$$

$$\varepsilon^{(NM)}(n) = \rho c^2 / n. \quad (2)$$

Для построения непрерывных функций $\mu_b^{(NM)}(P)$ и $\varepsilon^{(NM)}(n)$ нами была использована интерполяционная схема Эйткена [17].

2.2. *Странное кварковое вещество (QM)*. Для описания кварковой фазы была использована модель кваркового мешка, разработанная в Массачусетском технологическом институте (MIT) [18]. Кварковая фаза состоит из трех ароматов кварков u , d , s и электронов, находящихся в

равновесии относительно слабых взаимодействий, обеспечиваемых реакциями



Эти взаимопревращения приводят к следующим соотношениям между химическими потенциалами:

$$\mu_s = \mu_d = \mu_u + \mu_e. \quad (4)$$

Условие электронейтральности для кварк-электронной плазмы имеет вид

$$\frac{2}{3}n_u - \frac{1}{3}n_d - \frac{1}{3}n_s - n_e = 0. \quad (5)$$

Плотность числа частиц i -го сорта определяется формулой

$$n_i(\mu_i) = -\frac{\partial \Omega_i}{\partial \mu_i} \quad (i = u, d, s, e), \quad (6)$$

где Ω_i - термодинамический потенциал частиц i -го сорта. Нами было использовано выражение термодинамического потенциала Ω , приведенное в работах [2,4] в линейном приближении относительно постоянной кварк-глюонного взаимодействия $\alpha_c = g^2/4\pi$, где g - константа связи КХД. В этих работах массы u и d кварков приняты равными нулю, а масса странного кварка равна $m_s = 175$ МэВ.

Уравнения (4)-(6) позволяют выразить концентрации частиц n_i и термодинамические потенциалы Ω_i как функции от химического потенциала одного из ароматов кварков, скажем от $\mu_s = \mu_d = \mu$.

Давление в модели мешка MIT определяется выражением

$$P(\mu) = - \sum_{i=u,d,s,e} \Omega_i(\mu) - B, \quad (7)$$

где B - постоянная "мешка", характеризующая вакуумное давление и обеспечивающая конфайнмент.

В настоящей работе использованы следующие феноменологические параметры модели "мешка":

$$m_s = 175 \text{ МэВ}, \quad B = 55 \text{ МэВ/фм}^3, \quad \text{и} \quad \alpha_c = 0.5.$$

Плотность энергии кварк-электронной плазмы $\rho^{(QM)} c^2$ и барионная концентрация $n_B^{(QM)}$ определяются выражениями

$$\rho^{(QM)} c^2 = \sum_{i=u,d,s,e} (\Omega_i + \mu_i n_i) + B, \quad (8)$$

$$n_B^{(QM)} = \frac{1}{3} (n_u + n_d + n_s). \quad (9)$$

Так же, как и в случае нейтронного вещества, для странного кваркового вещества определяются барионный химический потенциал $\mu_B^{(QM)}$ и энергия, приходящаяся на барион - $\mathcal{E}^{(QM)}$.

$$\mu_B^{(QM)} = \frac{P + \rho^{(QM)} c^2}{n_B^{(QM)}}, \quad (10)$$

$$\mathcal{E}^{(QM)} = \rho^{(QM)} c^2 / n_B^{(QM)}. \quad (11)$$

2.3. *Фазовый переход первого рода.* В рассматриваемой нами модели имеет место фазовый переход первого рода. Условия Гиббса

$$p^{(NM)} = p^{(QM)} = P_0, \quad \mu_B^{(NM)} = \mu_B^{(QM)} \quad (12)$$

позволяют найти давление P_0 , плотности числа барионов n_N и n_Q , а также массовые плотности ρ_N и ρ_Q , характеризующие сосуществование двух фаз.

Параметры фазового перехода первого рода могут быть определены также стандартным построением Максвелла. Функциональная зависимость энергии на барион при фазовом переходе первого рода удовлетворяет аналогичным условиям Гиббса соотношениям

$$\frac{\partial \mathcal{E}^{(NM)}}{\partial (1/n_B^{(NM)})} = \frac{\partial \mathcal{E}^{(QM)}}{\partial (1/n_B^{(QM)})} = -P_0, \quad (13)$$

$$\mathcal{E}_Q - \mathcal{E}_N = P_0 \left(\frac{1}{n_N} - \frac{1}{n_Q} \right), \quad (14)$$

что соответствует общей касательной на графике зависимости энергии на барион \mathcal{E} от $1/n$. На рис.1 приводится построение Максвелла, позволяющее определить параметры фазового перехода первого рода P_0 , n_N и n_Q .

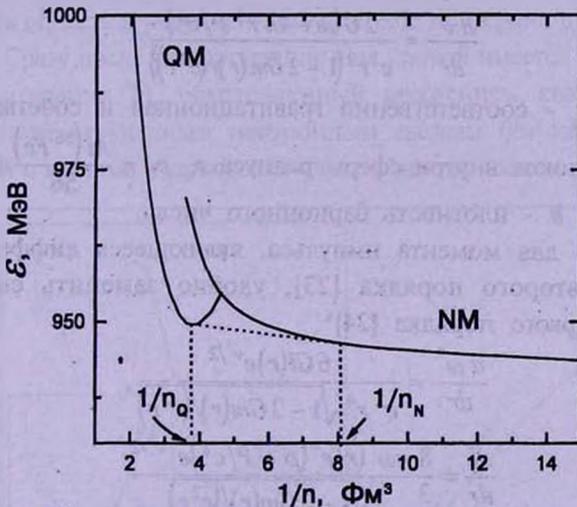


Рис.1. Построение Максвелла для фазового перехода нейтронного вещества (NM) к странному кварковому веществу (QM). \mathcal{E} - энергия, приходящаяся на барион, n - плотность барионов.

Численные расчеты в рамках этой модели привели к следующим значениям характеристик фазового перехода первого рода: $P_0 = 0.76$ МэВ/фм³, $n_N = 0.12$ фм⁻³, $n_Q = 0.26$ фм⁻³, $\rho_N c^2 = 113.8$ МэВ/фм³, $\rho_Q c^2 = 250.5$ МэВ/фм³.

3. *Модели нейтронных звезд с ядрами из странного кваркового вещества (гибридные звезды).* 3.1. *Уравнения ТОВ и Хартла.* Для сферически-симметричных статических звезд пространственно-временная геометрия задается метрикой

$$ds^2 = e^{\nu(r)} c^2 dt^2 - e^{\lambda(r)} dr^2 - r^2 (d\vartheta^2 + \sin^2 \vartheta d\varphi^2). \quad (15)$$

Структурная функция $e^{\lambda(r)}$ определяется формулой

$$e^{\lambda(r)} = \left(1 - 2Gm(r)/(c^2 r)\right)^{-1},$$

где $m(r)$ - накопленная внутри сферы радиуса r масса. Метрическая функция $\nu(r)$ вне звезды удовлетворяет условию

$$e^{\nu(r)} = 1 - 2GM/(c^2 r), \quad r > R. \quad (16)$$

Уравнения Эйнштейна для статической звезды приводят к известным уравнениям Толмена-Оппенгеймера-Волкова [19-22]

$$\frac{dP}{dr} = - \frac{G(\rho + P/c^2)}{r^2 \left(1 - 2Gm(r)/(c^2 r)\right)} (m + 4\pi r^3 P/c^2), \quad (17)$$

$$\frac{dm}{dr} = 4\pi r^2 \rho, \quad (18)$$

$$\frac{dm_0}{dr} = \frac{4\pi r^2 \rho_0}{\sqrt{1 - 2Gm(r)/(c^2 r)}}, \quad (19)$$

$$\frac{dm_p}{dr} = \frac{4\pi r^2 \rho}{\sqrt{1 - 2Gm(r)/(c^2 r)}}, \quad (20)$$

$$\frac{d\nu^*}{dr} = \frac{2G(m + 4\pi r^3 P/c^2)}{c^2 r^2 \left(1 - 2Gm(r)/(c^2 r)\right)}. \quad (21)$$

Здесь m и m_p - соответственно гравитационная и собственная массы, а m_0 - масса покоя внутри сферы радиуса r , $\rho_0 = \frac{M(^{56}\text{Fe})}{56} n$ - плотность массы покоя, n - плотность барионного числа.

Уравнение для момента импульса, являющееся дифференциальным уравнением второго порядка [23], удобно заменить системой двух уравнений первого порядка [24]:

$$\frac{d\omega^*}{dr} = \frac{6Gl(r)e^{\nu^*/2}}{c^2 r^4 \sqrt{1 - 2Gm(r)/(c^2 r)}}, \quad (22)$$

$$\frac{dl}{dr} = \frac{8\pi\omega^*(r)r^4(\rho + P/c^2)e^{-\nu^*/2}}{3\sqrt{1 - 2Gm(r)/(c^2 r)}}. \quad (23)$$

Интегрирование начинается с центра звезды со следующими граничными условиями: $P = P_c$, $m(0) = 0$, $m_0(0) = 0$, $m_p(0) = 0$, $\nu^*(0) = 0$, $\omega^*(0) = \omega_0$, $l(0) = 0$, где ω_0 - произвольная постоянная.

Граница равновесной конфигурации определяется условием $P(R) = 0$, где R - координатный радиус звезды. Полная гравитационная масса M , полная масса покоя M_0 и полная собственная масса M_p определяются соответственно как $M = m(R)$, $M_0 = m_0(R)$ и $M_p = m_p(R)$.

Структурная функция $\nu(r)$ определяется выражением

* В работе [24] в уравнении (22) пропущен множитель 6.

$$v(r) = v^{\circ}(r) - v^{\circ}(R) + \ln\left(1 - 2Gm(r)/(c^2 r)\right). \quad (24)$$

Функции $\omega^{\circ}(r)$ и $l(r)$ позволяют определить момент инерции звезды

$$I = \frac{l(R)}{\omega^{\circ}(R)\sqrt{1 - 2GM/(c^2 R)} e^{-v^{\circ}(R)/2} + \frac{2Gl(R)}{c^2 R^3}}. \quad (25)$$

Интегральные параметры сверхплотной звезды определяются численным интегрированием системы уравнений (17)-(23) для заданного уравнения состояния $\rho(P)$ и $\rho_0(P)$.

3.2. *Результаты численного интегрирования.* С использованием описанного выше уравнения состояния сверхплотного вещества с учетом возможности появления в результате фазового перехода первого рода странной кварковой материи были проинтегрированы уравнения ТОВ и Хартля.

Результаты расчета полной массы M , массы покоя M_0 и собственной массы M_p в зависимости от центрального давления P_c приведены на рис.2. Если в области максимальной массы (конфигурация δ) эти кривые имеют обычный характер, то в области малых масс, где снова происходит потеря устойчивости - нарушается условие $dM/dP_c > 0$ (конфигурация a), - кривая имеет ряд особенностей, которые отсутствуют в случае других уравнений состояния. Эта область в укрупненном масштабе приведена в левом верхнем углу рисунка. Сразу после конфигурации a на кривой имеется зубцеобразный излом (конфигурация b), обусловленный рождением кварков. Участок (ab) соответствует стабильным нейтронным звездам без кваркового ядра. Конфигурации с малыми кварковыми ядрами неустойчивы - участок кривой

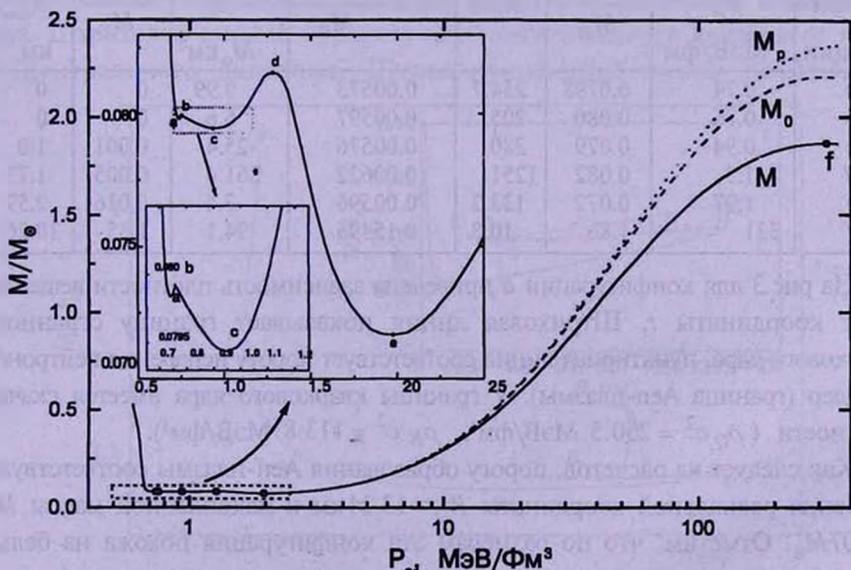


Рис.2. Зависимость полной массы M , массы покоя M_0 и собственной массы M_p от центрального давления. В левом верхнем углу в укрупненном масштабе показан ход зависимости $M(P)$ в области малых масс. Символами a, b, c, d, e, f обозначены критические конфигурации, a соответствует обычной нейтронной звезде с минимальной массой, b - порогу образования кваркового ядра.

(bc), где $dM/dP_c < 0$. Это согласуется с результатами работы [25], где было показано, что в случае выполнения условия

$$\lambda = \frac{\rho_Q}{\rho_N + P_0/c^2} > 3/2 \quad (26)$$

конфигурации с ядром новой фазы малой массы являются неустойчивыми. В рассмотренном случае $\lambda = 2.19$, т.е. соответствует условию (26).

Обычно при выполнении условия (26) зубцеобразный излом abc имеет место не в области малых масс, а на восходящей ветви кривой $M(P)$, и после конфигурации c до конфигурации с максимальной массой f кривая имеет монотонно восходящий характер. В рассмотренном же случае сразу после этого излома опять в области малых масс образуется локальный максимум - конфигурация d , у которой радиус превосходит 1000 км, а масса хоть и слегка, но превосходит массу конфигурации b и равна $0.082M_\odot$. У этой конфигурации вместе с радиусом выделенный максимум имеет также момент инерции (см. табл.1 и рис.6).

В табл.1 представлены основные параметры критических конфигураций a, b, c, d, e, f . Здесь приведено также значение коэффициента упаковки α . Как видим, для всех критических конфигураций эта величина имеет положительный знак и по величине, кроме конфигурации f , того же порядка, что для белых карликов.

Таблица 1

ПАРАМЕТРЫ КРИТИЧЕСКИХ КОНФИГУРАЦИЙ

Конфи- гурации	P_c МэВ/фм ³	$\frac{M}{M_\odot}$	$R, \text{км}$	$\alpha = \frac{M_0 - M}{M_0}$	$I,$ $M_\odot \text{км}^2$	$\frac{M_{\text{свр}}}{M_\odot}$	$R_{\text{свр}}$ км
b	0.76	0.080	205	0.00597	6.6	0	0
c	0.94	0.079	380	0.00576	25.4	0.001	1.0
d	1.3	0.082	1251	0.00622	861.4	0.005	1.73
e	1.97	0.072	133.2	0.00596	2.4	0.016	2.59
f	321	1.86	10.8	0.15495	94.1	1.85	10.26

На рис.3 для конфигурации d приведена зависимость плотности вещества ρ от координаты r . Штриховая линия показывает границу странного кваркового ядра, пунктирная линия соответствует порогу испарения нейтронов из ядер (граница Аеп-плазмы). У границы кваркового ядра имеется скачок плотности ($\rho_Q c^2 = 250.5$ МэВ/фм³, $\rho_N c^2 = 113.8$ МэВ/фм³).

Как следует из расчетов, порогу образования Аеп-плазмы соответствуют значения радиальной координаты $R_{\text{м}} = 13.24$ км и накопленной массы $M_{\text{м}} = 0.07M_\odot$. Отметим, что по размерам эта конфигурация похожа на белые карлики, но основная часть ее массы сосредоточена в Аеп-плазме.

На рис.4 показана зависимость массы звезды M от ее радиуса R . Символами a, b, c, d, e, f обозначены те же конфигурации, что и на

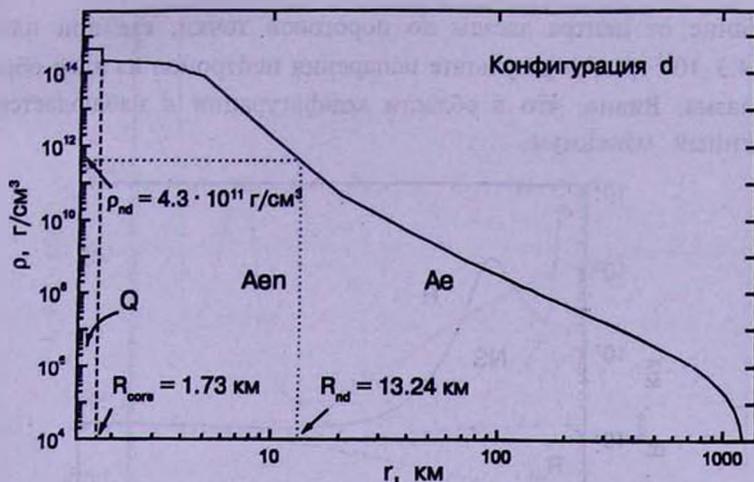


Рис.3. Плотность вещества ρ в зависимости от радиальной координаты r для конфигурации d (см. рис.2 и табл.1). Штриховая линия соответствует границе странного кваркового ядра, пунктирная - порогу образования при плотности $\rho_{nd} = 4.3 \cdot 10^{11} \text{ г/см}^3$ Aep-плазмы.

рис.2. Из рис.4 видно, что звезды одинаковой массы, соответствующие двум ветвям (cd) и (ef), достаточно сильно отличаются друг от друга по радиусу. В то время, как звезды ветви (ef) имеют радиусы ~ 10 км, звезды ветви (cd) имеют довольно большие радиусы порядка 1000 км, что характерно для белых карликов.

На рис.5 показана зависимость радиуса звезды R и радиуса кваркового ядра R_{core} от центрального давления P_c . Пунктирной линией показана кривая, соответствующая нейтронным звездам, не имеющим кваркового ядра. Штриховой линией показана зависимость радиуса кваркового ядра от центрального давления. Штрих-пунктирная линия показывает

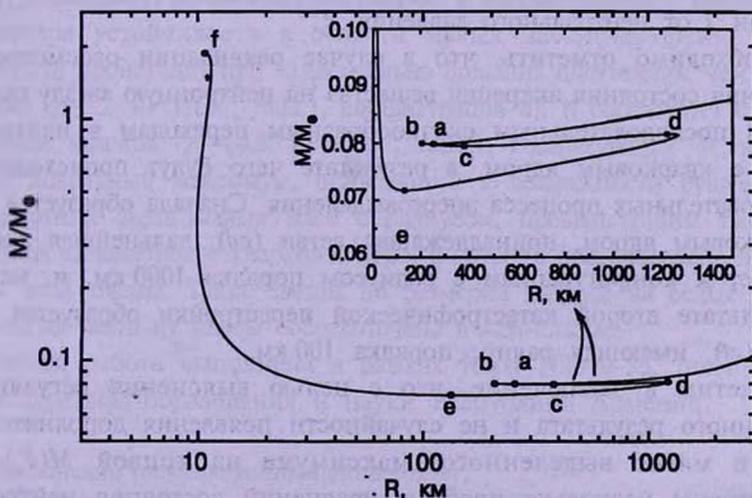


Рис.4. Зависимость массы M звезды от ее радиуса R . В правом верхнем углу в укрупненном масштабе показан ход зависимости $M(R)$ в области малых масс. a, b, c, d, e, f - те же конфигурации, что и на рис.2.

расстояние от центра звезды до пороговой точки, где при плотности $\rho_{nd} = 4.3 \cdot 10^{11} \text{ г/см}^3$ в результате испарения нейтронов из ядер образуется Аеп-плазма. Видно, что в области конфигурации d наблюдается резко выделенный максимум.

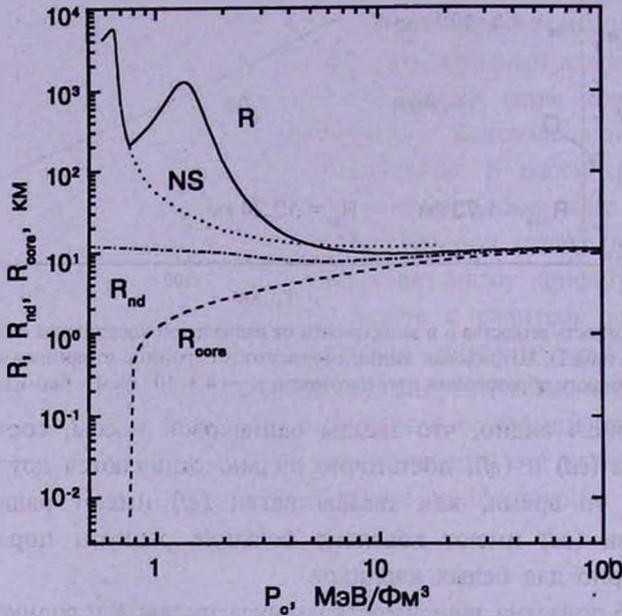


Рис.5. Зависимость радиуса звезды R от центрального давления P_c . Пунктирная линия соответствует обычным нейтронным звездам, не имеющим кваркового ядра. Штриховая линия показывает зависимость радиуса кваркового ядра R_{core} от P_c , а штрих-пунктирная линия - зависимость координаты R_{nd} соответствующей порогу образования Аеп-плазмы.

На рис.6 представлен график зависимости релятивистского момента инерции I от центрального давления P_c .

Необходимо отметить, что в случае реализации рассмотренного уравнения состояния аккреция вещества на нейтронную звезду приведет к двум последовательным скачкообразным переходам в нейтронную звезду с кварковым ядром, в результате чего будут происходить два последовательных процесса энерговыделения. Сначала образуется звезда с кварковым ядром, принадлежащая ветви (cd) ; дальнейшая аккреция приведет к конфигурациям с радиусом порядка 1000 км, и, наконец, в результате второй катастрофической перестройки образуется звезда ветви (ef) , имеющая радиус порядка 100 км.

Отметим в заключение, что с целью выяснения регулярности полученного результата и не случайности появления дополнительного (хотя и мягко выделенного) максимума на кривой $M(P_c)$ были рассмотрены несколько пробных уравнений состояния нейтронного вещества, отличающихся от рассмотренного уравнения в области, близкой к порогу образования кварковой фазы. Исследования подтвердили

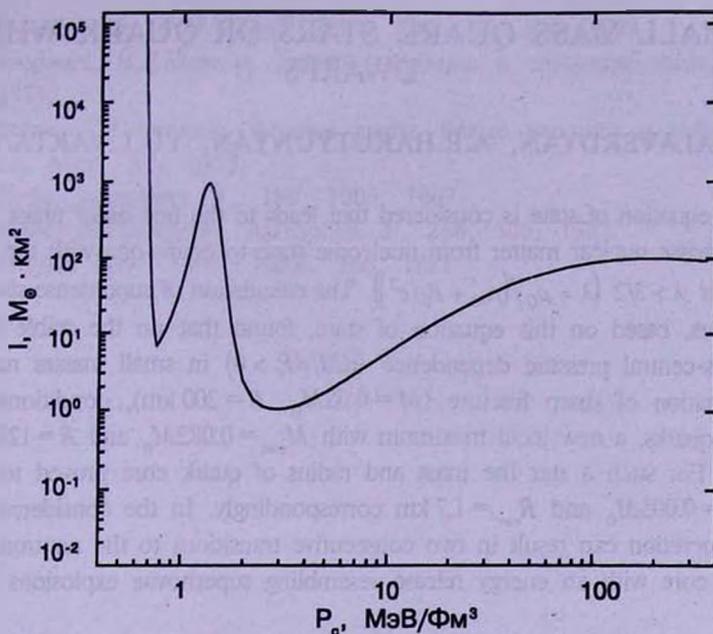


Рис.6. Релятивистский момент инерции I в зависимости от центрального давления.

регулярность результата и показали, что варьирование уравнения состояния в области $9 \cdot 10^{13} \text{ г/см}^3 < \rho < 1.8 \cdot 10^{14} \text{ г/см}^3$ может приводить в некоторых случаях даже к усилению обнаруженной особенности кривой $M(P_c)$.

4. **Заключение.** Фазовый переход первого рода с параметром перехода $\lambda > 3/2$ в сверхплотном ядерном веществе от нуклонной компоненты к странному кварковому состоянию обычно приводит к возникновению на устойчивой ветви зависимости массы звезды от центрального давления (кривой $M(P_c)$) небольшого зубцеобразного излома. В рассматриваемой выше модели, где потеря устойчивости в области малых масс (нарушение условия $dM/dP_c > 0$) происходит при относительно больших плотностях, чем в других моделях ($\rho_c = 2 \cdot 10^{14} \text{ г/см}^3$, табл.1, конфигурация *a*), и соседствует с порогом рождения кварков ($\rho_c = 4.5 \cdot 10^{14} \text{ г/см}^3$, табл.1, конфигурация *b*), возникает новый локальный максимум, приводящий к возможности существования сверхплотных звезд малых масс с радиусом, превышающим тысячу км, имеющих километровое кварковое ядро, в котором сосредоточено лишь 6 % массы всей звезды. Такие звезды по размерам похожи на белые карлики, а основная часть их массы сосредоточена в Аеп-плазме.

Данная работа выполнена в рамках темы N2000-55, поддержанной Министерством образования и науки Республики Армения.

Ереванский государственный университет,
Армения

SMALL MASS QUARK STARS OR QUARK WHITE DWARFS

G.B.ALAVERDYAN, A.R.HARUTYUNYAN, YU.L.VARTANYAN

The equation of state is considered that leads to the first order phase transition in superdense nuclear matter from nucleonic state to quark one with the transition parameter $\lambda > 3/2$ ($\lambda = \rho_Q / (\rho_N + P_0/c^2)$). The calculation of superdense stars integral parameters, based on this equation of state, found that on the stable branch of star mass-central pressure dependence ($dM/dP_c > 0$) in small masses region after the formation of sharp fracture ($M = 0.08 M_\odot$, $R = 200$ km), conditioned by the birth of quarks, a new local maximum with $M_{\text{max}} = 0.082 M_\odot$ and $R = 1251$ km also appears. For such a star the mass and radius of quark core proved to be equal to $M_{\text{core}} = 0.005 M_\odot$ and $R_{\text{core}} = 1.7$ km correspondingly. In the considered model a matter accretion can result in two consecutive transitions to the neutron star with a quark core with an energy release resembling supernovae explosions.

ЛИТЕРАТУРА

1. E.Witten, Phys. Rev., D30, 272, 1984.
2. E.Farhi, R.L.Jaffe, Phys. Rev., D30, 2379, 1984.
3. C.Alcock, E.Farhi, A.Olinto, Astrophys. J., 310, 261, 1986.
4. P.Haensel, J.L.Zdunik, R.Schaeffer, Astron. Astrophys., 160, 121, 1986.
5. Г.Б.Алавердян, А.Р.Арутюнян, Ю.Л.Вартанян, А.К.Григорян, Докл. НАН РА, 95, 98, 1995.
6. Ю.Л.Вартанян, А.Р.Арутюнян, А.К.Григорян, Письма в Астрон. ж., 21, 136, 1995.
7. S.B.Khadkikar, A.Mashra, H.Mishra, Mod. Phys. Lett., 10, 2651, 1995.
8. N.K.Glendenning, Phys. Rev., D46, 1274, 1992.
9. H.Heiselberg, C.J.Pethick, E.F.Staubo, Phys. Rev. Lett., 70, 1355, 1993.
10. C.P.Lorenz, D.G.Ravenhall, C.J.Pethick, Phys. Rev. Lett., 70, 379, 1993.
11. H.Heiselberg, M.Hjorth-Jensen, nucl-th/ 9902033, 1999.
12. R.P.Фейнман, N.Metropolis, E.Teller, Phys. Rev., 75, 1561, 1949.
13. G.Baym, C.Pethick, P.Sutherland, Astrophys. J., 170, 299, 1971.
14. G.Baym, H.A.Bethe, C.J.Pethick, Nucl. Phys., A175, 225, 1971.
15. F.Weber, N.K.Glendenning, M.K.Weigel, Astrophys. J., 373, 579, 1991.
16. R.Machleidt, K.Holinde, Ch.Elster, Phys. Rept., 149, 1, 1987.
17. Н.С.Бахвалов, Численные методы, Наука, М., 1975.
18. A.Chodos, R.L.Jaffe, K.Johnson et al., Phys. Rev., D9, 3471, 1974.
19. R.C.Tolman, Phys. Rev., 55, 364, 1939.

20. *J.R. Oppenheimer, G.M. Volkoff*, *Phys. Rev.*, **55**, 374, 1939.
21. *Я.Б.Зельдович, И.Д.Новиков*, Теория тяготения и эволюция звезд, Наука, М., 1971.
22. *С.Шапиро, С.Тьюколски*, Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды, Мир, М., 1985.
23. *J.V. Hartle*, *Astrophys. J.*, **150**, 1005, 1967.
24. *P. Haensel, M. Proszynski*, *Astrophys. J.*, **258**, 306, 1982.
25. *B. Kaempfer*, *Phys. Lett.*, **101B**, 366, 1981.

УДК: 524.337.2

Краткие сообщения

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ ЛЕБЕДЯ 1975г. (V 1500) В АБАСТУМАНИ. II. РАЗЛОЖЕНИЕ ЛИНИЙ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ НА КОМПОНЕНТЫ

В первой части настоящей работы [1] описан спектральный материал, полученный нами в Абастуманской астрофизической обсерватории во время вспышки Новой в созвездии Лебедя в 1975г.

Начиная с 2 сентября, эмиссионные линии некоторых элементов (водорода, кислорода, железа и др.) начали обнаруживать сложное строение: визуально они состояли из четырех компонент.

Нами были измерены профили таких линий. С этой целью спектры Новой были записаны на регистрограмме при помощи модернизированного микрофотомера МФ-4. Впоследствии некоторые линии (H_β и H_α) были измерены также и на координатно-измерительной машине ИЗА-2.

Основной трудностью при отождествлении линий являлась многокомпонентность, характерная для этой Новой, в некоторых случаях - блендирование линий различных элементов, а также присутствие резонансного дублета межзвездного натрия в поглощении. Измерения показали, что облако натрия, ответственное за его возникновение, движется относительно Земли со скоростью 1.2 ± 5.2 км/с, т.е. практически неподвижно. Эквивалентная ширина линий поглощения оказалась равной 0.65 ± 0.05 Å.

Основные изменения в спектре Новой, происшедшие в течение сентября, следующие:

С 3/4 до конца сентября наблюдались яркие водородные линии H_α , H_β , H_γ , H_δ .

Линия N III 4640 (состоящая из двух компонент равной интенсивности: $\lambda\lambda$ 4634 и 4641) присутствовала с 5/6 до конца сентября.

1/2 и 2/3 сентября наблюдалась линия OI 5299, с 4/5 по 7/8 сентября она блендировалась линией Fe II 5317.

С 1/2 до 5/6 сентября наблюдалась линия Fe II 5018, с 7/8 по 27/28 сентября она сменилась линией [O III] 5007.

Линия Fe II 5169 наблюдалась с 1/2 до 7/8 сентября.

С 1/2 до 7/8 сентября в спектре Новой наблюдался резонансный дублет Na I 5890, 5896, блендированный линией He I 5876. С 8/9 сентября

начинает доминировать линия гелия, а линии натрия исчезают.

При беглом осмотре эмиссионные линии в спектре Новой обнаруживают по четыре максимума. Эти сложные контуры нами разложены по методике, описанной в [2], на элементарные лоренцевые кривые (которые в данном случае оказались удачнее гауссовских контуров), согласно формуле:

$$I(x) = \sum_i \frac{a_i}{1 + \left(\frac{x - x_{0i}}{\delta_i} \right)^2} + c. \quad (1)$$

Во многих случаях количество компонент на самом деле оказывалось больше четырех. Пример такого разложения показан на рис.1.

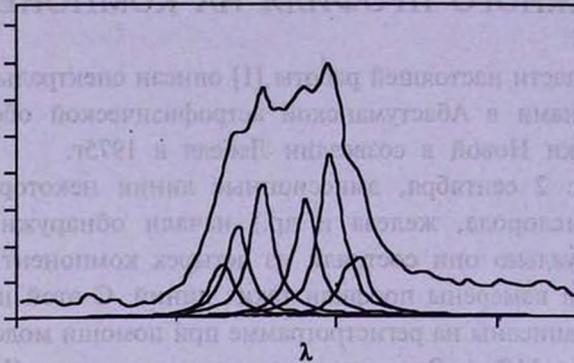


Рис.1. Разложение линии H_β на компоненты (негатив N 12336).

С целью контроля длин волн, определенных при помощи регистрограмм, некоторые спектры были измерены при помощи координатно-измерительной машины ИЗА-2, обеспечивающей высокую точность измерений.

Таблица 1

ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ КОМПОНЕНТ ЛИНИЙ

Элемент	v_1 , (км/с)	v_2 , (км/с)	v_3 , (км/с)	v_4 , (км/с)	v_5 , (км/с)	v_6 , (км/с)	v_7 , (км/с)	v_8 , (км/с)	v_9 , (км/с)
H_α		-1092	-480	195	693	1237			
H_β	-1423	-1042	-503	110	714	1103			
H_γ		-1083	-531	201	775	1116	1512		1218
H_δ		-1118	-466	173	732	1115	1600		
N III 4634		-1044	-552	-17	538	1069			2134
N III 4641		-971	-437	117	648	1125			2204
Fe II 5317	-1448	-1020	-532	297	732		1393		
Fe II 5018		-1090	-492	291	927		1374	1815	
Fe II 5169		-1080	-445	239	811	1298			2375
O I 5299			-359	302		1260		1997	
[O III] 5007		-1158	-441	301		1053	1510		2375
Na I 5890		-912	-630		673	1073			2142
Na I 5896		-933	-646		769			1836	2201
He I 5876		-1096	-403	185	508	1314	1598	1922	
v_σ	-1436±13	-1049±20	-494±21	200±28	710±33	1160±29	1498±40	1893±42	2264±46

Результаты определения лучевых скоростей компонент спектральных линий собраны в табл.1, являющейся сводной.

В последней строке табл.1 приведены средние значения лучевых скоростей каждой компоненты, т.е. для каждого отдельного облака.

Из данных табл.1 видно, что материя, изверженная из недр Новой, состояла из 9 облаков, движущихся с различными лучевыми скоростями.

Эквивалентные ширины компонент H_{α} , полученные по негативу №12345 (14-15 сентября), позволяют оценить массы четырех облаков, внесших основной вклад в излучение. Они соответственно равны 13, 8, 8 и $6 \cdot 10^{27}$ г, если считать их в порядке возрастания лучевой скорости.

Различие условий ионизации в этих облаках привело к тому, что отдельные линии в спектре представлены не всеми возможными компонентами.

Полученная нами многокомпонентная картина показывает, что явление вспышки Новой происходило сложнее, чем описывается пространственно-кинематической моделью А.А.Боярчука и Р.Е.Гершберга [3].

The investigation of Nova Cygni 1975 (V 1500) in Abastumani. II. A Decomposition of a Composed-Profile Line Into Simple Components. During the night of August 30/31 1975 in constellation Cygni the Nova was revealed by one of the authors. Spectral observations of the Nova had been made by means of 70-cm meniscustype telescope, using 72-cm 8° objective-prism and diffraction spectrograph located at Cassegrain focus. With cursory survey some emission lines in spectra of Nova consist of four components. These composed profiles were expanded in Lorenz's simple curves. As a result it is seen that the substance, erupted from the bowels of Nova, consisted of 9 clouds, having different radial velocities.

15 сентября 2000
Абастуманская астрофизическая
обсерватория, Грузия

Р.И.Киладзе
R.I.Kiladze
М.П.Гикошвили
M.P.Gikoshvili

ЛИТЕРАТУРА

1. Р.И.Киладзе, М.И.Гикошвили, *Астрофизика*, **44**, 73, 2001.
2. Р.И.Киладзе, М.Н.Бутикашвили, *Бюлл. Абастум. АО*, **61**, 263, 1986.
3. А.А.Боярчук, Р.Е.Гершберг, *Астрон. ж.*, **54**, 488, 1977.

УДК: 524.7-724

Краткие сообщения

О ПРИРОДЕ АКТИВНОСТИ ЯДЕР ГАЛАКТИК

В [1] развито представление о том, что активные ядра галактик являются компактными скоплениями звезд, которые со временем эволюционируют в состояние статистического равновесия. В таких системах имеет место максвелловское распределение звезд по скоростям и, следовательно, больцмановское равнораспределение внутренней энергии по степеням свободы звезд, в том числе и по их вращательным степеням свободы. При этом наивероятное значение угловой скорости вращения для обычных звезд настолько большое, что они распадаются под воздействием центробежных сил. Разрушение обычных звезд происходит также при их физических (тесных) столкновениях с белыми карликами и нейтронными звездами, наличие которых в скоплении предполагается с самого начала его формирования.

1. Важной характеристикой звездного скопления является время физических столкновений. Соответствующая формула для скоплений, состоящих из звезд с примерно одинаковыми массами и радиусами, приведена в [2,3]. В нашем случае система состоит из разных типов звезд с сильно отличающимися радиусами, и поэтому необходимо ввести разные времена столкновений между звездами разных типов. Обобщение соответствующей формулы на этот случай не представляет особого труда.

Рассмотрим физические столкновения звезды с параметрами M_p , R_p (масса и радиус) со звездами, параметры которых M_k , R_k . Время таких столкновений определяется формулой

$$t_c = \left\{ \pi(R_l + R_k)^2 a_k n w \left[1 + \frac{2G(M_l + M_k)}{(R_l + R_k)w^2} \right] \right\}^{-1}. \quad (1)$$

Здесь α_k - доля k -ого типа звезд в скоплении, а w - относительная скорость сталкивающихся звезд на больших расстояниях между ними ($w^2 = 2v^2$, где v^2 - усредненная по объему скопления среднеквадратичная скорость звезды [1]). В (1) множитель $\pi(R_l + R_k)^2$ соответствует геометрическому поперечному сечению сталкивающихся звезд, а множитель в квадратных скобках описывает увеличение сечения, вызванное гравитационным притяжением.

Выражение в квадратных скобках формулы (1) можно записать в виде

$$1 + \frac{0.122}{N_8} \cdot \frac{M_1 + M_k}{M_S} \frac{R_\odot}{R_1 + R_k} \frac{R}{0.1 \text{пк}}, \quad (2)$$

где N и M_S - число звезд и среднее значение массы звезды в скоплении, R - радиус скопления, $N_8 = 10^{-8}N$. В случае столкновений обычной звезды с подобной ей звездой, белым карликом или нейтронной звездой это выражение порядка единицы. Учитывая это обстоятельство, для времени физического столкновения обычной звезды с любой звездой скопления получаем

$$t_c \approx \frac{1.45 \cdot 10^7}{\alpha_k N_8^{3/2}} \left(\frac{M_\odot}{M_S} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{R_\odot}{R_1 + R_k} \right)^2 \left(\frac{R}{0.1 \text{пк}} \right)^{7/2} \text{ лет.} \quad (3)$$

Последствия столкновений обычной звезды с подобной ей или другими типами звезд разные. В первом случае звезды могут слиться, а во втором - обычная звезда может потерять заметную часть своей массы.

Время (3) очень мало по сравнению с возрастом галактики, и поэтому, в результате разрушающего действия столкновений и центробежных сил, в нашу эпоху число обычных звезд в ядрах галактик должно быть мало по сравнению со сверхплотными звездами.

В случае столкновений сверхплотных звезд (белые карлики и нейтронные звезды) выражение (2) по величине значительно больше единицы. В этом случае для времени тесных столкновений из (1) получаем

$$t_c \approx \frac{4.13 \cdot 10^{18}}{\alpha_k (R_1 + R_k) N_8^{3/2}} \left(\frac{M_S}{M_\odot} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{2 M_\odot}{M_1 + M_k} \right)^2 \left(\frac{R}{0.1 \text{пк}} \right)^{5/2} \text{ лет.} \quad (4)$$

Для столкновения белого карлика с белым карликом

$$t_c \approx \frac{4 \cdot 10^9}{\alpha_{\text{БК}} N_8^{1/2}} \cdot \frac{5 \cdot 10^8}{R_{\text{БК}}} \cdot \left(\frac{R}{0.1 \text{пк}} \right)^{5/2} \text{ лет,} \quad (5)$$

где $R_{\text{БК}}$ - радиус белого карлика, $\alpha_{\text{БК}} N$ - число белых карликов в ядре галактики. Такого же порядка и время столкновения белого карлика с нейтронной звездой. Время же тесного столкновения нейтронной звезды с нейтронной звездой порядка

$$t_c \approx \frac{2 \cdot 10^{12}}{\alpha_n N_8^{1/2}} \cdot \left(\frac{R}{0.1 \text{пк}} \right)^{5/2} \text{ лет,} \quad (6)$$

где α_n - доля нейтронных звезд в ядре галактики. Таким образом, времена тесных столкновений для сверхплотных звезд достаточно большие. В соответствии с этим число тесных столкновений белых карликов с белыми карликами и нейтронными звездами мало и они не играют заметной роли в эволюции ядер галактик. Более существенное значение имеют тесные столкновения белых карликов с обычными звездами. В физических столкновениях с обычными звездами, а также благодаря аккреции, масса белого карлика растет и как только превышает предельное значение [4,5], белый карлик (будучи метастабильным образованием) коллапсирует в нейтронную звезду [6].

Таким образом, по ходу эволюции скопления число обычных звезд и белых карликов уменьшается, а число нейтронных звезд растет. В результате, в настоящую эпоху компактные ядра галактик в основном должны состоять из достаточно быстро вращающихся нейтронных звезд-пульсаров.

2. Часть звезд путем испарения покидает ядра галактик. Соответствующее уменьшение числа звезд определяется уравнением

$$dN = -0.015 N \frac{dt}{\tau} = -4.71 \cdot 10^{-6} \left[N \frac{M_S}{M_\odot} \left(\frac{0.1 \text{пк}}{R} \right)^3 \right]^{1/2} \frac{dt}{\text{лет}} \quad (7)$$

(см. [1,2]), где τ - время релаксации. Интегрируя (7), в предположении что изменение радиуса скопления со временем не сильное, получаем

$$N(t) = N_0 \left[1 - 2.36 \cdot 10^{-6} \left[\frac{M_S}{N_0 M_\odot} \left(\frac{0.1 \text{пк}}{R} \right)^3 \right] \frac{t}{\text{лет}} \right]^2, \quad (8)$$

где N_0 - начальное число звезд в скоплении. Отсюда следует, что время жизни системы равно

$$t_1 \approx 4.24 \cdot 10^5 \left[N_0 \frac{M_\odot}{M_S} \left(\frac{R}{0.1 \text{пк}} \right)^3 \right]^{1/2} \text{лет}. \quad (9)$$

Для ядра нашей Галактики (масса $M = NM_S \approx 2.6 \cdot 10^6 M_\odot$, радиус $R \approx 0.015$ пк) время жизни $t_1 \approx 4 \cdot 10^7$ лет, тогда как для ядер других галактик t_1 значительно больше приведенной величины, например, для NGC 4258 (масса $M \approx 4 \cdot 10^7 M_\odot$, радиус $R \approx 0.018$ пк) получается $t_1 \approx 6.5 \cdot 10^9$ лет. Как видим, имеется проблема со временем жизни ядра нашей Галактики. Ее можно решить, если предположить, что в результате испарения число звезд в скоплении успело сильно уменьшиться, и поэтому $N(t) \ll N_0$. При этом подходящим выбором N_0 можно исправить положение. Однако возможности в выборе N_0 ограничены, поскольку согласно сложившимся представлениям массы ядер галактик порядка $10^7 \leq M \leq 10^{10} M_\odot$. Наша Галактика по своим масштабам является средней, и поэтому можно допустить $N_0 \sim 5 \cdot 10^8$. Тогда, принимая $t_1 \approx 10^{10}$ лет, из (9) получаем

$$R \approx 0.1 (M_S / M_\odot)^{1/3} \text{пк}. \quad (10)$$

Это значение в 7 раз больше значения $R \approx 0.015$ пк, найденного в [7,8] путем изучения кривых вращения звезд вокруг центра Галактики. Однако исследованные в [7,8] кривые вращения могут относиться к звездам в глубине ядра Галактики, и тогда соотношение (10) может удовлетворяться.

3. Наличие относительно большого числа нейтронных звезд (пульсаров) в ядрах галактик означает, что в них должны существовать столько же мощных источников излучения. В [6] показано, что ядра галактик являются мощными источниками жесткого гамма-излучения, обусловленного изгибным излучением релятивистских потоков электронов, пролетающих по каналам открытых

магнитных силовых линий пульсаров. Рентгеновское и ультрафиолетовое излучения объясняются синхротронным излучением этих же потоков электронов в магнитном поле ядер галактик. Оптическое (видимое и инфракрасное) и радио излучения - тормозным излучением электронов межзвездной среды.

Повторяя расчеты, проведенные в [6,9,10], можно вывести следующее уточненное выражение для мощности γ - излучения ядра галактики, обусловленного находящимися в нем пульсарами:

$$L_{\gamma} \approx 1.68 \cdot 10^{43} a_n \mu_{30} N_8^{12/7} \left(\frac{\Omega}{\bar{\Omega}} \right)^{10/7} \left(\frac{M_S}{M_{\odot}} \cdot \frac{0.1 \text{ пк}}{R} \right)^{5/7} \text{ эрг/с}^1, \quad (11)$$

где $\bar{\Omega}$ - среднее значение угловой скорости вращения нейтронной звезды [1], а μ - ее магнитный момент. Магнитные моменты нейтронных звезд имеют большой разброс: $0.1 \leq \mu_{30} = \mu \cdot 10^{-30} \leq 10$. В зависимости от типа галактик параметры их ядер также заметно изменяются: $0.1 \leq N_8 \leq 100$, $0.1 \leq R \leq 1 \text{ пк}$. В соответствии с этим γ - светимость компактных ядер галактик, обусловленная пульсарами (речь идет о фотонах с энергиями порядка 10^5 МэВ), меняется в пределах

$$3 \cdot 10^{40} \leq L_{\gamma} \leq 9 \cdot 10^{46} \text{ эрг/с.} \quad (12)$$

Соответствующие мощности рентгеновского и ультрафиолетового излучений определяются выражениями

$$L_{\gamma} \approx 4.5 \cdot 10^{41} a_n \mu_{30} N_8^{3/2} \frac{\Omega}{\bar{\Omega}} \left(\frac{M_S}{M_{\odot}} \cdot \frac{0.1 \text{ пк}}{R} \right)^{1/2} \Delta \epsilon_i^1, \quad (13)$$

где $\Delta \epsilon_i$ - энергия, затраченная электроном на излучение в заданном диапазоне частот. В результате

$$L_{\gamma} \approx \frac{\mu_{30}}{\sqrt{H}} \begin{cases} 3 \cdot 10^{40} - 3 \cdot 10^{44} \text{ эрг/с} & \text{рентгеновский диапазон} \\ 2 \cdot 10^{39} - 2 \cdot 10^{43} \text{ эрг/с} & \text{ультрафиолетовый диапазон,} \end{cases} \quad (14)$$

где H - напряженность магнитного поля в ядре галактики.

Сравнивая (11) и (13) с аналогичными выражениями, приведенными в [6], можно определить порядок величины введенных уточнений.

On the nature of the activity of galactic nuclei. More accurate formulas for gamma, X-ray and UV radiation intensities from active galactic nuclei are presented.

6 августа 2000г.
Ереванский государственный
университет, Армения

Г.С.Саакян
G.S.Sahakian
Л.Ш.Григорян
L.Sh.Grigoryan

1) Численное согласие с результатами [6] имеется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.Ш.Григорян, Г.С.Саакян, *Астрофизика*, **41**, 41, 1997.
2. У.Саслау, *Гравитационная физика звездных и галактических систем*, Мир, М., 1989.
3. J.Binney, S.Tremaine, *Galactic Dynamics*, Princeton Univ. Press, 1987.
4. L.Sh.Grigorian, G.S.Sahakian, *Astrophys. Space Sci.*, **95**, 305, 1983.
5. Г.С.Саакян, *Физика нейтронных звезд*, Изд. ОИЯИ, Дубна, 1995.
6. Г.С.Саакян, *Астрофизика*, **40**, 483, 1997.
7. Е.Маоз, *Astrophys. J.*, **447**, L91, 1995; **494**, L181, 1998.
8. F.Munyanega, D.Tsiklauri, R.D.Viollier, *Astro-ph/9903242*, 1999.
9. Г.С.Саакян, *Астрофизика*, **39**, 303, 489, 1996.
10. Г.С.Саакян, Г.Ф.Хачатрян, *Астрофизика*, **43**, 277, 2000.

CONTENTS

The morphologies of dwarf Markarian galaxies <i>A.R.Petrossian, J.W.Mackenty, B.J.Mclean</i>	175
Rotation curves of galaxies in different spatial environment <i>E.A.Evstigneeva, V.P.Reshetnikov</i>	193
Study of the second Byurakan survey's galaxies. III. Spectral observations in the fields 09^h47^m , $+51^\circ$ and 09^h50^m , $+55^\circ$ <i>S.K.Balayan, S.A.Hakopian, V.L.Afanasiev, S.N.Dodonov</i>	199
New spectrophotometric data on nuclei of the galaxies KAZ 26 and Kaz 73 <i>M.A.Kazarian, J.R.Martirosian</i>	207
Some new results concerning the study of the Virgo cluster structure <i>N.G.Kogoshvili, T.M.Borchkhadze</i>	217
Optical identifications of IRAS point sources. Galaxies. VII <i>A.M.Mickaelian</i>	227
On relationships of morphological types of the most luminous galaxy and morphological contents of rest members in loose groups of galaxies <i>A.P.Magtesian, W.G.Movsesian</i>	243
Investigation of stratification of vertical distribution of chromium in the atmospheres of CP stars. II. Model analysis <i>I.S.Savanov, O.P.Kochukhov, V.V.Tsybmal</i>	253
New H_α stars, HHL objects and a cometary Nebula <i>N.D.Melikian, A.A.Karapetian</i>	265
Optical identifications of the IRAS point sources on the base of the FBS low-dispersion spectra. Stars. V <i>A.M.Mickaelian, K.S.Gigoyan</i>	273
Star spots studies for three short period RS CVn-type binaries <i>H.M.KAl-Naimiy</i>	285
Analysis of multi-color photometric observations of SS 433 <i>T.R.Irsmambetova</i>	297
The Vela pulsar's angular velocity relaxation after its first eight jumps <i>D.M.Sedrakian, M.V.Hairapetian</i>	311
Small mass quark stars or quark white dwarfs <i>G.B.Alaverdyan, A.R.Harutyunyan, Yu.L.Vartanyan</i>	323
NOTES	
The investigation of Nova Cygni 1975 (V 1500) in Abastumani. II. A decomposition of a composed-profile line into simple components <i>R.I.Kiladze, M.P.Gikoshvili</i>	337
On the nature of the activity of galactic nuclei <i>G.S.Sahakian, L.Sh.Grigoryan</i>	341

СОДЕРЖАНИЕ (продолжение)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХРОМА В АТМОСФЕРАХ СР-ЗВЕЗД. II. МОДЕЛИРОВАНИЕ

И.С.Саванов, О.П.Кочухов, В.В.Цымбал 253НОВЫЕ H_α ЗВЕЗДЫ, HNL-ОБЪЕКТЫ И КОМЕТАРНАЯ ТУМАННОСТЬ*Н.Д.Меликян, А.А.Карпетян* 265

ОПТИЧЕСКИЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ IRAS НА ОСНОВЕ НИЗКОДИСПЕРСИОННЫХ СПЕКТРОВ FBS. ЗВЕЗДЫ. V

А.М.Микаелян, К.С.Гигоян 273

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВЕЗДНЫХ ПЯТЕН ДЛЯ ТРЕХ КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКИХ ДВОЙНЫХ ТИПА RS CVn

Н.М.К.Ал-Наими 285

АНАЛИЗ МНОГОЦВЕТНЫХ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ SS 433

Т.Р.Ирсмамбетова 297

РЕЛАКСАЦИЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ПУЛЬСАРА VELA ПОСЛЕ ЕГО ПЕРВЫХ ВОСЬМИ СКАЧКОВ

Д.М.Седракян, М.В.Айрапетян 311

КВАРКОВЫЕ ЗВЕЗДЫ МАЛЫХ МАСС ИЛИ КВАРКОВЫЕ БЕЛЫЕ КАРЛИКИ

Г.Б.Алавердян, А.Р.Арутюнян, Ю.Л.Вартанян 323

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ ЛЕБЕДЯ 1975г. (V 1500) В АБАСТУМАНИ. II. РАЗЛОЖЕНИЕ ЛИНИЙ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ НА КОМПОНЕНТЫ

Р.И.Киладзе, М.П.Гикошвили 337

О ПРИРОДЕ АКТИВНОСТИ ЯДЕР ГАЛАКТИК

Г.С.Саакян, Л.Ш.Григорян 341