# академия наук армянской сср АСТРОФИЗИКА

**TOM 17** 

НОЯБРЬ, 1981

выпуск 4

УДК 523.855

### СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ СЕЙФЕРТОВСКОЙ ГАЛАКТИКИ МАРКАРЯН 1066

#### В. Л. АФАНАСЬЕВ, В. А. ЛИПОВЕЦКИЙ, А. И. ШАПОВАЛОВА Поступила 3 февраля 1981 Принята к печати 10 апреля 1981

Представлены результаты спектрофотометрии сейфертовской галактики Маркарян 1066. Спектры получены в первичном фокусе 6-м телескопа со спектрографом UAGS и ЭОП УМ-92 с дисперсиями 92 и 45 А/мм в области длин волн  $\lambda\lambda$  4200—7400 А. В спектре отождествлено свыше 60 линий различных элементов с уровнем обнаружения  $I > 0.05 I_{\rm H}$ . Среди слабых линий наиболее богато представлены эмиссионные линии запрещенного железа в различных стадиях ионизации от [Fe II] до [Fe X]. Интелсивности ярких запрещенных линий и их ширины соответствуют средним значениям для галактик типа Sy 2.

По исправленным за покраснение интенсивностям запрещенных линий [NII], [SII], [O III], [Ar IV] определены электронные плотности и температуры в зонах [N II]—  $N_e \simeq 700 \text{ cm}^{-3}$ ,  $T_e \simeq 10^4 \text{ K}$  и [O III]— $N_e \gtrsim 3 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-3}$ ,  $T_e \simeq 10^4 \text{ K}$ . Присутствие широкой компоненты у H<sub>a</sub> и H<sub>β</sub> указывает на существование 3-й зоны— плотной области HII с  $N_e \simeq 10^9 \text{ cm}^{-3}$ ,  $T_e \simeq 10^4 \text{ K}$ . Используя потоки в линиях H<sub>β</sub>, [OIII] из [27] вычислены параметры газовой составляющей (M,  $V_{\text{вср.}}$ ,  $v_{\text{врр.}}$ ,  $E_{\text{вср.}}$ , R) в указанных зонах для галактик Маркарян 1066 и Маркарян 744, а также светимости и массы ядер. Массы газа в плотной зоне HII для них составляют  $M = 0.035 \text{ M}_{\odot}$  и 0.05  $\text{M}_{\odot}$ , соответственно. Отмечено близкое подобие Маркарян 1066 (Sy 1.9) и Маркарян 744 (Sy 1.8) по физическим характеристикам. Высказано предположение о возможном присутствии широкой компоненты у разрешенных линий других сейфертовских галактик Sy 2.

1. Введение. Ранее нами были опубликованы результаты детальных спектральных исследований ядра галактики сейфертовского типа Маркарян 744 [1]. Настоящая работа является продолжением спектрофотометрии избранных сейфертовских галактик на БТА.

#### В. Л. АФАНАСЬЕВ И ДР.

Галактика Маркарян 1066 включена Маркаряном и др. [2] в XI список галактик с ультрафиолетовым континуумом. По описанию в МКГ [3] эта галактика имеет линзу и две внешние почти бесструктурные тугозакрученные спиральные ветви: L; 2swal. На наш взгляд, Маркарян 1066 можно отнести к спиральным галактикам раннего типа с ярким ядром. Наклон оси вращения галактики к лучу зрения составляет  $i \gtrsim 60^\circ$ , видимая величина  $m_{\rm Pg} \simeq 14^m$ 5, размеры  $d = 30 \times 17^m$ , спектральный тип ds2e [2], красное смещение z = 0.0123 [4].

Звездная величина и цвета этой галактики, согласно результатам электрофотометрии с диафрагмой 25" Дорошенко и Теребиж [5], составляют: V = 13."96; U - B = 0."46; B - V = 0."93; V - R = 1."07. Маркарян 1066 отнесена Афанасьевым и др. [4] к типу Sy2.

2. Наблюдения и обработка. Спектры Маркарян 1066 получены в 1977 г. в первичном фокусе БТА со спектрографом UAGS и ЭОП УМ-92 [6] в диапазоне λλ 4200—7400 с дисперсией 92 А/мм и 45 А/мм. Ширина инструментального контура на половине интенсивности (FWHI) составляет ~ 250 км/с при дисперсии 45 А/мм и ~ 400 км/с при дисперсии 92 А/мм, а разрешение ~ 3 А и 5 А, соответственно.

В табл. 1 приведены данные по журналу наблюдений. Для исправления за спектральную чувствительность аппаратуры использовались спектры звезды сравнения BD + 25° 3941 [7] и спектры галактики Маркарян 744 [1], снятые в ту же ночь в тех же условиях. Спектрограммы записаны в почернениях на микрофотометре с цифровым выходом с шагом 0.01 мм и затем обработаны на ЭВМ «М-222» по программе экспрессной обработки спектров, как в [1].

Таблица 1

No	Дата наблю- дения	Экспо- зиция (мин)	Эмуль- сия	Изобра- жения	Д <b>н</b> апазон (А)	Дисперсия (А/мм)	Щель (сек.дуги)
1	14.01.77	2	A-600	1.5	6200-7400	92	0.7
2		4			6100-7450	99	19
3		3	11	17	4200-5850		13
4		1.5	19		4300-5540		11
5	31.10.77	2		2″	4800-5 <b>380</b>	45	1″
6		2	17	11	6400- <b>7</b> 000	**	11
7		3	**	92	6500-7000		10
		1					

3. Результаты. а) Эмиссионные линии. В спектре Маркарян 1066 хорошо видны яркие эмиссионные линии водорода  $H_a$ ,  $H_3$ ,  $H_7$  и запрещенные линии [OI]  $\lambda\lambda$  6300, 6364; [OIII]  $\lambda\lambda$  4959, 5007; [SII]  $\lambda\lambda$  6717,

644

6731 A; [N II] )). 6548, 6584 A; для поиска и отождествления других более слабых эмиссионных линий использовались как индивидуальные записи, так и суммы всех спектров данного диапазона. Линией считался пик, превышающий шумовую дорожку в Зэ, присутствующий во всех спектрах и обязательно в суммарном. Наиболее уверенно выделены линии в диапазонах )). 4800—5300 и )). 6400—7000, где все имеющиеся в наличии спектры данного диапазона перекрывались.

При идентификации найденных линий использовались таблицы Мур [8], каталог Мейнела и др. [9], данные о вероятностях атомных переходов из Гарстанга [10, 11], Визе и др. [12]; результаты наблюдений Теккерея [13] и Аллера и др. [14] пекулярных звезд  $\eta$  Саг и RR Tel; данные Нетцера [15], Боксенберга и др. [16] по NGC 4151; О'Коннел и др. [17] по Маркарян 477, 699; и наши данные по Маркарян 744 [1]. Результаты отождествления линий представлены в табл. 2, где последовательно даны: 1— порядковый номер; 2— наблюдаемые длины волн; 3— длины волн, исправленные за красное смещение; 4— интенсивности линий в единицах  $I_{H_{\beta}} = 10$ ; 5— предполагаемое отождествление: 6— примечания. Неуверенные результаты в колонках 2—4 отмечены двоеточием. Интенсивности линий определены с погрешностью  $10-15 \, %_0$  для  $I > I_{H_{\beta}}$  и  $\gtrsim 50 \, \%_0$  для  $I < 0.1 \, I_{H_3}$ .

На рис. 1а, b представлены записи в относительных интенсивностях оригинальных спектров Маркарян 1066 в синем и красном диапазонах длин волн. Там же отмечены отождествленные линии из табл. 2 в несмещенной шкале длин волн. Внизу каждого спектра приведена шумовая дорожка.

Большинство слабых эмиссионных линий отождествлено нами с запрещенными линиями железа в различных стадиях ионизации: [Fe II] 4F, 6F, 18F, 19F, 20F, 43F, 44F; [Fe III] 2F; [Fe VII] 1F, 2F и [Fe X]. Интенсивности этих линий такого же порядка, как в спектре Маркарян 744 [1].

Среди других элементов идентифицированы линии ионов He II  $\lambda$  4686, [Ar IV] IF, 2F ( $\lambda\lambda$  4740, 7237, 7263, 7332) и др. Линия [Ar IV] 2F ( $\lambda$  7171) нами не обнаружена, хотя согласно вероятностям переходо: [10] она должна быть наиболее яркой в данном мультиплете. Отметим, что в спектре Маркарян 744 эта линия была самой слабой в мультиплете. В отличие от Маркарян 744 в спектре Маркарян 1066 нами не обнаружено эмиссионных линий разрешенного железа Fe II.

В табл. З приведены относительные интенсивности ярких эмиссионных линий Маркарян 1066, а также соответствующие данные для Маркарян 744 [1] и средние значения интенсивностей для галактик типа Sy ? [18] и Sy 1 [19]. Хорошо видно, что по интенсивностям ярких запрещенных линий Маркарян 1066 близка к средней галактике типа Sy 2, но линии высокого возбуждения (He II  $\lambda$  4686; [O III]  $\lambda$  4959, 5007) здесь более слабые, чем обычно наблюдается у Sy 2. Отношения ин-



Рис. 1. Запись суммы спектров a) (3+4) и b) (1+2) Маркарян 1066 в относительных интенсивностях. Внизу каждой записи приведена шумовая дорожка. Оригинальная дисперсия 92 А/мм. Номера спектров — согласно данным табл. 1.

тенсивностей линий [N II]  $\lambda$  6584/H<sub>a</sub> ~ 1 и [O III]  $\lambda$  5007/H<sub>3</sub>  $\geqslant$  3 — также типичны для галактик Sy 2. Однако по нашим спектрам можно заподозрить наличие у линий H<sub>a</sub> и H<sub>3</sub> слабых крыльев шириной  $\geqslant$ 70 A и  $\geqslant$  35 A, соответственно.

6) Контуры и ширины линий. Как и ранее [1], разделение бленд и анализ контуров эмиссионных линий выполнен при следующих предполо-

# СЕЙФЕРТОВСКАЯ ГАЛАКТИКА МАРКАРЯН 1066 647

Таблица 2

_				the second se	
No	λ"	$\lambda_{_{\rm H}}/(1+z)$	<i>Ī/I</i> <sub>H3</sub> =10	Отождествление	Примечания
1	2	3	4;	5	6
1	4392	4340	4.44	4?40 H <sub>1</sub>	
2	4415	4363	1.95	4363 [O III] 2F	
3	4472	4419	1.22	4416 [Fe II] 6F	
4	4480	4428	1.37	4432 [Fe II] 6F	
5	4512	4459	0.7	4458 [Fe II] 6F	
6	4544	4490	0.73	4489, 4493 [Fe II] 6F	-
7	4554	4500	1.03	-	
8	4570	4516	0.33	4515 [Fe II] 6F	
9	4596	4541	1.06	4541 He II 2?	
10	4626-30	4571-75	1.34	-	
11	4698	4642	0.36	4640 [Fe II] 4F	
12	(4730 (4745	( <b>4674</b> \ <b>46</b> 89	0.82 0.79		
13	4784:	4728	0.60	4728 [Fe 11] 4F	
14	4800	4742	1.16	4740 [Ar IV] 1F	
15	4834	4776	1.49:	4775 [Fe II] 20F	
16	4876:	4818	0.58:	4815 [Fe 11] 20F	
17	4892	4834	0.67	-	Возможно, крыло
18	4920	4861	10.0	4861 H <sub>3</sub>	in, co cipjarjpon
19	4936	4877	0.73	4875 [Fe 11] 20F; 4881 [Fe 11] 2F?	
20	4966	4907	0.73	4905 [Fe 11] 20F; 4906 Fe IV?	
21	4988	4928	0.73	4930 [Fe III] 1F; 4924 [Fe III] 2F	
22	5000 — 5008:	4941 4949	2.22	4942 [Fe VII] 2F; 1947, 4951 [Fe II] 20F	Бленда с [О [11] 4959
23	5019	4959	10.30	4959 [O 111] 1F	
24	5037	4977	0.91	4973 [Fe II] 20F	
25	5050:	4990	2.74:	4989 [Fe VII] 2F; 4987 [Fe III] 2F	Бленда с [О ]]] 5007
26	5067	5007	31.3	5007 [O III] 1F	
27	5091	5030	0.97	5033 [Fe III] 2F	
28	5103:	5042	0.67:	5043 [Fe II] 20F	
29	5172:	5111	1.3	5112 [Fe II] 19F; 5108 [Fe II] 12F?	
30	5200	5139	0.85	-	

## В. Л. АФАНАСЬЕВ И ДР.

Таблица 2 (окончание)

1	2	3	4	5	6
31	5220	5159	0,70	5158 [Fe VII] 2F;	
	6.	1.		5159 [Fo II] 19F	
32	5260	5198	1.34	5198 [N I] 1F	
33	5282	5220	0.64	5220 [Fe II] 19F	
34	5313	5250	1.19	-	
35	5356	5292	1.16	5297 [Fell] 19F	
36	5420	5355	0.91	- 4	
37	5648:	5581	1.21	5581 [Fe II] 39F?	
38	5767:	5699	0.61	-	ALC: N
39	5804:	5736	1.67	-	
40	6164:	6091	1.64	6086 [Fe VII] 1F	
41	6268:	6194	1.96	6189 [Fe II] 44F	
42	6376	6300	4.01	6300 [OI] 1F	
43	6406	6330	0.78	-	
44	6440	6364	1.73	6364 [O I] 1F	
45	6450	6374	0.96	6374 [Fe X] 1F	
46	6476	6399	1.50	6396 [Fe 11] 44F	
47	6552	6474	0.91	6474 [Fe 11]; 6552 OH, NS.	-
48	6605	6527	1.60	6527 [N II] 1F?	Возможно, крыло На
49	6628	6548	13.91	6548 [N II] 1F	
50	6642	6563	49.7	6563 Ha	
51	6663	6584	41.3	6584 [N II] 1F	
52	6776	6697	1.64	6701 [Fe II] 43F:	
53	6798	6718	11.22	6717 [S II] 2F	
54	6812	6731	11.12	6731 [S II] 2F	
55	6956	6873	2.23	6874 [Fe II] 43F	
56	7009	6926	1.87	-	
57	7026	<b>6</b> 9 <b>43</b>	0.73	6945 [Fe II] 43F	
58	7129	7044	2.33	-	
59	7220	7143	3.05	7131 [Fe II] 43F; 7136 [Ar III] 1F	
60	7328	7240	3.42:	7236[Ar IV]2F+OH7337	
61	7304-60	7276-72	2.10:	7263[Ar IV]2F+OH7366	
62	7428:	7339		7332[Ar IV]2F	

648

жениях: 1) запрещенные линии [S II], [N II], [O III] и узкие компоненты разрешенных линий водорода имеют гауссовские профили и образуются в одинаковых областях; 2) теоретическое отношение интенсивностей линий [N II] —  $I(\lambda 6584)/I(\lambda 6548) = 2.9$ ; 3) контуры широких компонентов гладкие.

				-	Габлица З
Ион	λο	Марк 1066	Марк 744 [1]	Sy 2 [18]	Sy 1 <sup>1</sup> [19]
[0 [[]]	4363	0.2	0.21	0.17	0.02
He II	4686	0.08	0.16	0.22	0.32
Ha	4861	1.0	1.0	1.0	1.0
[0 []]	4959	1.03	1.5	2.7	0.16
[0 [11]	5007	3.4	4.5	8.1	0.48
[0]]	6300	0.4	0.63	0.80	0.03
[0]	6364	0.17	0.36	0.29	0.02
[N II]	6548	1.39	1.81	1.65	0.08
Hα	6563	4.97	7.04	5.2	3.6
[N II]	6584	4.13	5.44	5.0	0.25
[S II]	6717	1.22	1.51	1.39	0.08
[S II]	6731	1.11	1.31	1.30	0.06

На рис. 2a, b представлены теоретические (пунктир) и наблюдаемые (сплошная линия) контуры [O III]  $\lambda$  4959 и [S II]  $\lambda\lambda$  6717, 6731, а также остаток после вычитания наблюдаемого и теоретического контуров (штрих-пунктир). Там же нанесена ошибка  $3\sigma_I$ , определенная по шумовой дорожке рядом с соответствующими линиями. Видно, что в пределах  $3\sigma_I$ , контуры описываются гауссовскими профилями.



Рис. 2. Контуры эмиссионных линий [О III], Нр и [S II] в ядре галактики Маркарян 1066 в относительных интенсивностях. Сплошные линии — наблюдаемые контуры, пунктир — теоретические, штрих-пунктир — результат вычитания наблюдаемого и теоретического контуров.

На рис. За приведен результат разделения бленды  $H_{\alpha}$ , [N II] для случая, когда отсугствует широкий компонент у  $H_{\alpha}$ , т. е.  $H_{\alpha}$  полностью представляется одной гауссианой, а на рис. 3b - для случая, когда широкий компонент у  $H_{\alpha}$  выделяется. Штрих-пунктиром изображены результаты вычитания наблюдаемого и теоретического контуров. Очевидно, что при наличии широких крыльев (рис. 3b) согласие теоретического и наблюдаемого контуров много лучше. Аналогично, в случае  $H_{\beta}$ , попытка представить контур одной гауссианой также привела к отрицательному результату. На рис. 2b изображено разделение  $H_{\beta}$  на узкий и широкий компоненты. Таким образом, наличие слабых широких крыльев у линий  $H_{\alpha}$ ,  $H_{\beta}$ , на наш взгляд, практически не вызывает сомнения.



Рис. 3. Контуры линий Н<sub>2</sub> и [NII] в ядре галактики Маркарян 1066. Обозначения как на рис. 2. а) Теоретический контур Н<sub>2</sub> представлен простым гауссовским профилем. b) Теоретический контур Н<sub>2</sub> представлен в виде 2-х компонентов: узкого — простой гауссовский профиль (пунктир) и широкого — плавная кривая (жириая линия).

Необходимо отметить, что после вычитания наблюдаемого и теоретического контуров на рис. 3b, ошибки иногда превышают 3<sup>5</sup>, что может указывать на асимметрию и, следовательно, плохую представимость контура простым гауссовским профилем.

В табл. 4 приведены данные о ширинах ярких эмиссионных линий, исправленных за инструментальный контур, на половине интенсивности ( $\Delta V_{1/2}$ ) и на нулевой интенсивности ( $\Delta V_o$ ), выраженные в км/с. Средняя ширина запрещенных линий на половине интенсивности близка к таковой для галактик типа Sy 2 [18]. Ширина линии Н<sub>2</sub> на нулевой интенсивности приблизительно в 3 раза меньше, чем у средней галактики типа Sy 1 [19]. в) Непрерывный спектр и линии поглощения. На наших спектрограммах (табл. 1) спектры синего и красного диапазонов длин волн не перекрывались. Исправив спектры за спектральную чувствительность аппаратуры, мы, с помощью соответствующей нормировки, привязали диапазоны так, чтобы непрерывный спектр был плавным.

		Таблица		
λο	Ион	$\Delta V_{1/2}$ (km/c)	∆V <sub>0</sub> (км/с)	
4861	H3	500	1740	
4959	[0 111]	580	1140	
5007	[0 III]	480	1530	
6548	[N II]	330	830	
6563	Ha	430	3410	
6584	[N II] '	360	930	
6717	[S II]	320	790	
6731	[S II]	310	870	
Среднее по запре- ценным линиям		400 <u>+</u> 110	1010+280	
Среднее Sy 2 [18]		570±120		

Континуум Маркарян 1066 в области  $\lambda\lambda$  (4200—7400) следует степенному закону:  $F_{\bullet} \sim v^{-\alpha}$ , где  $\alpha = 2.5 \pm 0.5$ . Большая погрешность в определении  $\alpha$  связана с ошибками привязки диапазонов и калибровки. Отметим, что непрерывный спектр Маркарян 1066 круче, чем в случае Маркарян 744 [1], что хорошо согласуется с результатами электрофотометрии и U, B, V, R цветах [5].

В спектре Маркарян 1066 нами найдена в поглощении Mg lb полоса с эквивалентной шириной  $W_{\lambda} \sim (1 \div 2)$  А, что близко к соответствующему значению у спиральных галактик [17]. О наличии других характерных линий поглощения (H и K Ca II, D линии NaI) мы, к сожалению, судить не можем, поскольку на наших спектрах отсутствуют участки с i < 4200и  $\lambda\lambda$  (5850—6100).

г) Покраснение. Наблюдаемый бальмеровский декремент Маркарян 1066 значительно отличается от рекомбинационного. Предположим, что это отличие связано с покраснением излучения вследствие поглощения. Тогда, для определения параметра экстинкции «с» воспользуемся соотношением [20]:

$$\lg I(\lambda) = \lg I_0(\lambda) + cf(\lambda) + \text{const}, \tag{1}$$

3-1174

где  $I(\lambda)$  — интенсивность линии при отсутствии поглощения,  $I_0(\lambda)$  — наблюдаемая интенсивность,  $f(\lambda)$  — кривая покраснения.

Решая уравнение (1) по методу наименьших квадратов и используя значения рекомбинационного и наблюдаемого бальмеровского декрементов, получим  $c = 0.67 \pm 0.07$ .

При этом были приняты наши значения наблюдаемого бальмеровского декремента, значения теоретического рекомбинационного бальмерозского декремента  $I(H_a: H_p: H_p) = 2.85: 1.0: 0.469$ , рассчитанные в [21] для В случая поля излучения ( $T_e = 10^1$  K,  $N_e = 10^1$  см<sup>-3</sup>) и стандартная кривая межзвездного покраснения [22].

Таким образом, в пределах ошибок измерений наблюдаемый бальмеровский декремент Маркарян 1066 хорошо объясняется покраснением излучения вследствие поглощения. Величина поглощения в визуальной области составляет  $A_V \sim 1^m 5_1^1 \div 1^m 8$ . (При оценке  $A_V$  использованы соотношения  $E_{B-V} = 0.72 \cdot c$  [18] и  $A_V = R \cdot E_{B-V}$ , где  $R \sim 3.2 + 3.8$  [23].

Отметим, что полученное значение параметра экстинкции практически совпадает со средним для галактик типа Sy 2 [18] (с = 0.7).

В настоящее время имеется ряд косвенных аргументов в пользу того, что покраснение разрешенных и запрещенных линий у галактик Sy 2 примерно одинаково [18].

д)  $\mathcal{D}$ изические условия. Для определения электронной плотности  $N_{\bullet}$ и электронной температуры  $T_{\bullet}$  мы использовали наши значения интенсивностей запрещенных линий [N II], [S II], [O III]), [A IV], исправленные за полученное в пункте 2г покраснение.

Расчетные формулы для теоретической зависимости относительных интенсивностей линий [O III] ( $I_{4364}/I_{4959+5007}$ ) и (N II) ( $I_{5755}/I_{6548+6584}$ ) от  $N_e$ ,  $T_e$  взяты из работы [24], для [S II] ( $I_{6717}/I_{6731}$ ) — из [25] и для [Ar IV] — из [29]. На рис. 4 представлены графические решения соответствующих уравнений в плоскости lg  $N_e$ , lg  $T_e$  для наблюдаемых (сплошные линии) и исправленных за покраснение (пунктир) относительных интенсивностей вышеуказанных линий. Поскольку на наших спектрах линии [N II]  $\lambda$  5755 и [Ar IV]  $\lambda$  4711 отсутствовали, мы приняли, что они слабее нашего уровня обнаружения ( $I \leq 0.05 I_{H_3}$ ). Поэтому по линиям '[N II] мы определяли верхний предел  $T_e$ , а по [Ar IV] — нижний предел  $N_e$ . Как видно из рис. 4, в ядерной области Маркарян 1066 отчетливо выделяются две зоны разной плотности: 1) [N II] — со средним значением  $N_e \approx 700$  см<sup>-3</sup> и  $T_e \lesssim 10500$  K; 2) [O III] — с  $N_e > 3 \cdot 10^5$  см<sup>-3</sup> и  $T_e < 15000$  °K. В последующих расчетах для обеих зон мы принимаем электронную температуру  $T_e \simeq 10^4$ K. Наличие слабых широких крыльев у разрешенных линий водорода (см. пункт 26) свидетельствует о существовании в ядерной области Маркарян 1066 также зоны высокой плотности с  $N_e > 10^8$  см<sup>-3</sup>.



Рис. 4. Кривые равных отношений наблюдаемых (сплошные линии) и исправленных за покраснение (пунктир) авроральных и небулярных линий разных ионов на плоскостч N<sub>e</sub>, T<sub>e</sub>. Область допустимых значений N<sub>e</sub>, T<sub>e</sub> для зоны [N II], [S II] — слева от заштрихованной области, а для зоны [O III], [Ar IV] — вверху от заштрихованной области.

е) Определение параметров газовой составляющей ядра Маркарян 1066. Зная полную светимость в данной линии и объемную светимость, можно определить эффективный объем излучающего газа:

$$V_{s\phi\phi_i}=\frac{L_i}{\varepsilon_i},$$

где  $L_i$  — наблюдаемая светимость в линии *i*;  $\varepsilon_i$  — светимость 1 см<sup>3</sup> газа в той же линии.

При известной электронной плотности можно вычислить: массу газа  $M = N_e \cdot V_{s\phi\phi} \cdot m_\rho$ , его кинетическую энергию  $E_{\kappa} = (1/2) M v^2$ , и характерный размер излучающей области  $R = \sqrt[3]{3V_{s\phi\phi}/4\pi\epsilon}$  ( $v_{s\phi\phi}$  — скорость на половине интенсивности,  $\epsilon$  — фактор скважности, равный ~10<sup>-3</sup> [26]). Потоки в линиях Маркарян 1066 составляют:

$$F(H_{\beta}) = (5.7 \pm 3.7) \cdot 10^{-14} \frac{\Im pr}{cm^2 c},$$

$$F([O III] \lambda 5007) = (16.4 \pm 2.3) \cdot 10^{-14} \frac{\text{spr}}{\text{cm}^2 \text{c}},$$

согласно наблюдениям Дорошенко и Теребиж [27] на 125-см телескопе Южной станции ГАИШ со сканирующим спектрометром с диафрагмой 25" и шириной полосы  $\delta\lambda = 100$  А. Предполагая, что основной вклад в излучение в линиях определяется ядром и принимая расстояние до галактики r = 49 Мпс [4] (H = 75 км/с Мпс), мы получили светимость в линиях  $L_{H_3} = 1.5 \cdot 10^{10}$  эрг/с и  $L_{1959+5007} = 5.5 \cdot 10^{10}$  эрг/с. По нашим данным эквивалентные ширины линий составляют:  $W_{H_3} - 24.7$  А;  $W_{6581} =$ = 27.9 А;  $W_{6581} = 83.8$  А;  $W_{6117} = 22.6$  А;  $W_{6731} = 22.1$  А;  $W_{4959} = 24.6$  А. Соответствующие светимости в запрещенных линиях [N II], [S II] равны:  $L_{[NII]} = 6.8 \cdot 10^{10}$  эрг/с;  $L_{[S II]} = 2.71 \cdot 10^{10}$  эрг/с. Объемная светимость в линиях найдена из соотношения:]

$$\varepsilon = n_2 A_{21} h v_{12},$$

где n<sub>2</sub> — населенность 2-го уровня, A<sub>21</sub> — вероятность спонтанного перехода.

Населенность  $n_2$  для [N II], [O III] определена из решения уравнения стационарности для пятиуровенного атома. Было принято нормальное обилие элементов [28] и считалось, что в зоне [O III] все атомы кислорода находятся в состоянии [O III], а в зоне [N II] — все атомы азота в состоянии [N II]. Численные значения атомных параметров взяты из [12, 28]. Согласно нашим определениям для зоны [O III] принято  $N_e = 1.75 \cdot 10^6$  см<sup>-3</sup>,  $T_e = 10^4$  K, а для зоны [N II] —  $N_e = 700$  см<sup>-3</sup>,  $T_e = 10^4$ K. Для [S II] использован коэфрициент объемного излучения, рассчитанный в [29].

Далее, мы считаем, что широкие компоненты разрешенных линий водорода образуются в плотной зоне с  $N_e \simeq 10^9$  см<sup>-13</sup>,  $T_e \simeq 10^4$  K, а узкие компоненты — в зонах [OIII] и [N II]. По нашим данным эквивалентные ширины широких и узких компонентов линий водорода соответственно равны:

Из соотношения эквивалентных ширин следует, что в широком компоненте излучается энергии почти в 2 раза меньше, чем в узком. что соответствует в случае линии H<sub>3</sub>:

$$L_{\rm H_3}$$
 (шир.) = 0.5 · 10<sup>40</sup> эрг/с.

Объемный коэффициент излучения водорода в линии H<sub>в</sub> вычислен по формуле [30]:

$$\varepsilon(H_{\beta}) = 22.4 \cdot 10^{-20} N_e^2 - \frac{b_4(T_e)}{T_e^{3/2}} e^{\frac{9814}{T_e}} = 1.22 \cdot 10^{-25} N_e^2$$

где  $b_{4}(T_{e})$  — параметр, характеризующий степень отклонения от термодинамического равновесия, взят из [31] (случай В поля излучения).

Результаты расчетов соответствующих параметров ( $V_{***}$ , M,  $v_{***}$ , R) зон [N II], [O III], HII (плотная зона) приведены в табл. 5.

Марк. 1066	Марк. 744	Марк. 335	1 Параметры
1	2	3	4
13 <sup>77</sup> 96	13 <sup>77</sup> 72	13 6	Звездная величина ядра (V, A = 25"]
0.93	0.88	0.28	B-V
0.46	0.20	0.65	U-B
3574	2755	7900	Лучевая скорость (км/с)
48	37	106	Расстояние в Мпс (H=75 км/с Мпс)
-19.2	-18.5	-21.2	Абсолютная звездная величина, исправленная за поглощение в Галактике ( <i>MB</i> ; <i>A</i> = 25")
1.5.1040	1.1.1040	1.8-1042	Светимость в линии Н3 (врг/с)
0.33	0.66	0.85	L <sub>H<sub>β</sub></sub> (шир.)/L <sub>H<sub>β</sub></sub> (полная)
		Зон	a [N II]
700	830		Плотность газа N. (см-3)
165	210		Эффективная скорость (км/с)
4.9-104	3.7.104		Macca rasa $(M_0)$
1.3.1052	1.2.1052		Кинетическая энергия (эрг)
87	71		Характерный размер (пс)
		Зона	a [O III]
1.75.10*	10*	107	Плотность газа N. (см - 3)
± 250	± 305	±350	Эффективная скорость (км/с)
26	28	200	Масса газа (Мо)
1.7.1049	2.6:1040	2.1050	Кинетическая энергия (эрг)
0.6	0.64	1	Характерный размер (пс)

Таблица 5

Таблица 5 (окончание)

Светимость в полосе (0.36-3.5 мкм) (врг/с)

1	2	3	4		
all some the	п	лотная зона	Н II (принято $T_e = 10^4$ )		
10•	10•	109	Плотность газа Ne (см-3)		
±990	±1400	± 1750	Эффективная скорость (км/с)		
$3.5 \cdot 10^{-2}$	$5.1 \cdot 10^{-2}$	10	Масса газа (Мо)		
3.4.1047	5-1047	3.1050	Кинетическая энергия (эрг)		
0.007	0.008	0.05	Характерный размер (пс)		
		Цен	тральное тело		
2.3.10	5.1.108	5.107	5.107 Macca (M0)		

ж) Оценка массы и светимости ядра. Как в [32] мы предполагаем, что широкие эмиссии в спектре обусловлены параболическими скоростями газа в гравитационном поле ядра. Тогда масса ядра согласно [26] равна

6-1044

$$M_{\pi} = \frac{3 \, \tau^2}{2} \frac{R}{2} = 2.3 \cdot 10^{\circ} \, \mathfrak{M}_{\odot},$$

где  $v_{s\phi\phi}$  — эффективная скорость на половине интенсивности в плотной зоне H II, а R — ее радиус.

Поскольку для Маркарян 1066 отсутствуют инфракрасные измерения, мы можем получить только нижнюю (оптическую) оценку светимости ядра. Пусть излучение в линии Н<sub>3</sub> обусловлено только ядерной областью, тогда энергия континуума вблизи Н<sub>5</sub> составляет

$$E_{\text{конт.}} = \frac{L(H_{\text{B}})}{W(H_{\text{B}})} = 6.1 \cdot 10^{38} \text{ spr/c A.}$$

Считая спектр плоским в интервале длин волн 0.36—3.5 мкм, мы получим болометрическую светимость ядра:

$$L_{60A_{*}} > 1.9 \cdot 10^{43}$$
 spr/c.

Соответствующий предел эддингтоновской светимости ядра [33]:

$$L_{*\Phi\Phi} \sim 10^{38} M/M_{\odot} \simeq 2.3 \cdot 10^{11} \text{ spr/c}.$$

3. Обсуждение результатов. Рассмотрим сравнительные характеристики Маркарян 1066 и других сейфертовских галактик.

Из табл. 3 хорошо видно, что интенсивности запрещенных линий Маркарян 1066 близки к соответствующим значениям у галактик типа Sy 2.

1.9.1043

2.4.1043

Правда линии Не II  $\lambda$  4686 и [O III]  $\lambda\lambda$  4959, 5007 несколько слабее, чем у Sy 2, что указывает на более низкое возбуждение. В спектре Маркарян 1066 хорошо представлены линии запрещенного железа в разных стадиях ионизации от [Fe II] до [Fe X], что типично для Sy 2. Средние полуширины запрещенных линий близки к таковым у средней галактики типа Sy 2 (табл. 4).

Непрерывный спектр следует степенному закону в виде F, ~----, где x ~ 2.5, что близко к среднему для Sy 2.

Обнаруженная полоса MgIb имеет эквивалентную ширину  $\sim (1+2)$  A, что также характерно для Sy 2. Бальмеровский декремент Маркарян 1066 хорошо объясняется покраснением вследствие поглощения, параметр покраснения с  $\simeq 0.7$ , что соответствует среднему у галактик типа Sy 2.

Как и у других объектов типа Sy 2, в ядерной области Маркарян 1066 имеются две зоны низкой плотности: [O III], [Ar IV] –  $N_e \simeq 1.75 \cdot 10^9$  см<sup>-3</sup>,  $T \simeq 10^4$  K и [N II], [S II] –  $N_e \simeq 700$  см<sup>-3</sup>,  $T_e \simeq 1050$  K.

В спектре Маркарян 1066 нами подтверждено присутствие слабого широкого компонента у линий водорода Н<sub>x</sub> и H<sub>3</sub> — типичный признак Sy 1. Ширина крыльев при нашей точности определения приблизительно в три раза меньше, чем у средней Sy 1.

Итак, по всем характеристикам Маркарян 1066 принадлежит к типу Sy 2, но с учетом наличия широкого компонента мы относим ее к типу 1.9 по классификации Остерброка. Тогда галактику Маркарян 744, имеющую в полтора раза более мощный широкий компонент, можно отнести к типу 1.8.

В табл. 5 мы приводим сводные данные для ядра сейфертовской галактики Маркарян 1066 вместе с соответствующими данными для сейфертовских галактик типа Sy 1 Маркарян 335 [34] и Маркарян 744. (Для Маркарян 744 мы выполнили расчеты, аналогичные приведенным здесь. используя результаты из [1] и абсолютные потоки  $H_{\beta}$  и  $H_{\alpha}$  + [N II] из [27]).

Хорошо видно близкое подобие по всем характеристикам галактик Маркарян 744 и Маркарян 1066. Соответствующие характеристики сейфертовской галактики типа Sy 1 Маркарян 335 свидетельствуют о более мощных процессах в ее ядре. В пользу этого также свидетельствуют типичные для Sy 1 отношения болометрической и эддингтоновской светимостей, полученные для галактик Маркарян 744 и 1066 ( $\ge 0.1$ ). Для 49 Sy 1 и близких QSO это отношение составляет 0.2±0.05 [35].

Интересно отметить, что если зоны Маркарян 744 и 1066 образовались как результат отдельных вэрывов в их ядрах [36], то с учетом кинематического времени жизни каждой подсистемы получается, что накопленная масса в зонах [О III] и [N II] должна быть на порядок меньше наблюдаемой. Очевидно, в случае взрывной гипотезы, активность в прошлом должна была быть, по крайней мере, на порядок выше.

Таким образом, сейфертовская галактика Маркарян 1066 вслед за Маркарян 744 является еще одним примером, казалось бы, типичной галактики Sy 2, у которой, однако, присутствуют слабые широкие крылья у водородных линий. Как и ранее в [1], мы считаем, что можно ожидать наличия слабых широких компонентов водородных линий у многих других галактик типа Sy 2.

В заключение отметим, что подробное исследование контуров линий, выполненное для ряда рентгеновских галактик с узкими эмиссионными линиями [37], позволило обнаружить широкие компоненты водородных линий у 3-х из шести объектов. По своим спектральным характеристикам все эти объекты практически не отличимы от Sy 2.

Мы искренне благодарны В. Т. Дорошенко и В. Ю. Теребижу за предоставление результатов по абсолютным потокам в линиях у Маркарян 744 и 1066 до публикации.

Специальная астрофизическая обсерватория АН СССР

## SPECTROPHOTOMETRY OF THE SEYFERT GALAXY MARKARIAN 1066

#### V. L. AFANASJEV, V. A. LIPOVETSKY, A. I. SHAPOVALOVA

The spectrophotometric results are presented for the Seyfert galaxy Markarian 1066. The spectra are obtained in the prime focus of the 6-meter telescope with the spectrograph UAGS and the image tube UM-92 with the dispersion 92 and 45 A/mm in the range 32.4200-7400. More than 60 lines of different elements with the detection limit  $I \ge 0.05 I_{H_3}$  are indentified in the spectrum. Among weak lines the forbidden emission lines of iron in different ionization stages from [FeII] to [FeX] are represented most richly. The intensities of bright forbidden lines and their widths are in agreement with the mean values for the galaxies of Sy 2-type.

Continuum follows the power law  $I_x \sim v^{-\alpha}$  where  $\alpha = 2.5 \pm 0.5$ . The absorption line Mg1b with an equivalent width 1-2 A typical for spiral galaxies is detected. Blends of the emission lines [SII]  $\lambda\lambda$  6717/31 and  $H_{\alpha} + [N II] \lambda\lambda$  6548/84 are divided in the assumption of representation of forbidden line profiles by Gaussian profiles. A broad component is found in  $H_{\alpha}$  ( $\Delta\lambda \ge 75$  A) and in  $H_{\beta}$  ( $\Delta\lambda \ge 35$  A) in which the energy emits two times as less as in the sharp component, L ( $H_{\beta}$  broad) =

=  $0.5 \times 10^{10}$  erg/s. The Balmer decrement  $(H_{\alpha}/H_{\beta}/H_{\gamma})$  in the nucleus of Markarian 1066 is well explained by reddening owing to the absorption with the extinction parameter c = 0.7 equal to the mean value for Sy 2.

The electron densities  $Ne \simeq 700 \text{ cm}^{-3}$  and electron temperatures  $Te \simeq 10^4$  K in [N II] region and  $Ne \gtrsim 3 \cdot 10^5$  cm<sup>-3</sup> and  $Te \simeq 10^4$  K in [O III] region are deduced from the corrected for reddening intensities of the forbidden lines [N II], [S II], [O III], [Ar IV]. The presence of broad component in H<sub>a</sub> and in H<sub>3</sub> indicates the existence of the third region (dense region H II with  $Ne \simeq 10^9$  cm<sup>-3</sup>,  $Te \simeq 10^4$  K.). The parameters of gaseous component (M,  $V_{eff}$ ,  $v_{eff}$ ,  $E_k$ , R) in the regions mentioned above for the galaxies Markarian 1066 and Markarlan 744 and also luminosity and mass of nuclei are calculated by using fluxes in the lines H<sub>3</sub>, [O III] from [27]. Gaseous mass in the dense region H II for them are  $M = 0.035 \mathfrak{M}_0$  and  $0.05 \mathfrak{M}_0$  relatively. Close relation between Markarian 1066 (Sy 1.9) and Markarian 744 (Sy 1.8) is noted in physical characteristics. It is suggested that a broad component is probably present in the allowed lines in other Seyfert galaxies of the Sy 2-type.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. В. Л. Афанасьгв, В. А. Липовецкий, А. И. Шаповалова, Астрофизика, 15, 557, 1979.
- 2. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, Дж. А. Степанян, Астрофизика, 13, 397, 1977.
- 3. Б. А. Воронцов-Вельяминов, В. П. Архипова, Морфологический каталог галактик. ч. 2. Изд-во МГУ, 71, 1964.
- 4. В. Л. Афанасьев, В. А. Липовецкий, Б. Е. Маркарян, Дж. А. Степанян. Астрофизика, 16, 193, 1980.
- 5. В. Т. Дорошенко, В. Ю. Теребиж, Письма АЖ, 5, 571, 1979.
- 6. В. Л. Афанасьев, А. А. Пимонов, Изв. САО, 13, 1980 (в печати).
- 7. R. P. S. Stone, Ap. J., 193, 135, 1974.
- 8. C. E. Moore, A Multiplet Table of Astrophysical Interest, Princeton, 1945.
- 9. A. B. Metnel, A. F. Aveni, M. W. Stockton, Catalogue of Emission Lines in Astrophysical Objects, Univ. of Arizona Press, Tucson, 1969.
- 10. R. H. Garstang, M. N., 117, 393, 1957; 118, 572, 1958; 124, 321, 1962.
- R. H. Garstang, I.A.U. Symposium No. 34, Ed. D. E. Osterbrock and C. R. O'Dell, Reidel, Dordrecht, 143, 1968.
- 12. W. L. Wiese, M. W. Smith, B. M. Glennan, Atomic Transition Probabilities, vol. 1, Washington, 1964.
- 13. A. D. Thackeray, M. N., 113, 211, 1953; 135, 51, 1967.
- 14, L. H. Aller, R. S. Polidan, E. J. Rhodes, G. W. Wares, Astrophys. Space Sci., 20, 93, 1968.
- 15. H. Netzer, M. N., 169, 579, 1974.
- A. Boksenberg, K. Shortridge, D. A. Allen, R. A. E. Fosbury, M. V. Penston, A. Savage, M. N., 173, 381, 1975.
- 17. R. W. O'Connell, K. A. Kingham, P. A. S. P., 90, 244, 1978.
- 18. A. T. Koski, Ap. J., 223, 56, 1978.
- 19. D. E. Osterbrock, Ap. J., 215, 733, 1977.

- 20. M. J. Seaton, Rep. Progr. Phys., 23, 313, 1960.
- 21. M. Brocklehurst, M. N., 153, 471, 1971.
- 22. A. E. Whitford, A. 1., 63, 201, 1958.
- 23. С. А. Каплан, С. Б. Пикельнер, Межэвездная среда, М., 1963, стр. 195.
- 24. M. J. Seaton, M. N., 170, 475, 1975.
- 25. И. В. Носов, Астрон. цирк., № 1050, 1979.
- 26. Э. А. Дибай, Астрон. ж., 55, 456, 1978.
- 27. В. Т. Дорошенко, В. Ю. Теребиж, Частное сообщение, 1979.
- 28. C. W. Allen, Astrophys. Quant. Univ. of London, Athlone Press, 1973.
- 29. И. С. Балинская, К. В. Бычков, Сообщ. САО, 26, 51, 1979.
- 30. А. А. Боярчук, Р. Е. Гершберг, В. И. Проник, Изв. Крымской обс., 29, 291, 1963.
- 31. А. А. Боярчук, Р. Е. Гершберг, Н. В. Годовников, Изв. Крымской обс., 38, 208, 1968.
- 32. L. Woltjer, Ap. 1., 130, 38, 1958.
- 33. Э. А. Дибай, Письма АЖ. 3, 3, 1977.
- 34. Э. А. Дибай, Астрон. ж., 57, 677, 1980.
- 35. Э. А. Дибай, Письма АЖ, 5, 379, 1979.
- 36. Э. А. Дибай, В. И. Проник, Астрон. ж., 44, 952, 1967.
- P. Veron, P. O. Lindblad, E. J. Zuiderwijk, M. P. Veron, G. Adam, Astron. Astrophys., 87, 245, 1980.