

УДК: 524.724Марк5

КАРЛИКОВАЯ ГАЛАКТИКА МАРКАРЯН 5

А. Н. БУРЕНКОВ, А. Р. ПЕТРОСЯН, К. А. СААКЯН, Э. Е. ХАЧИКЯН

Поступила 20 апреля 1988

Принята к печати 25 июня 1988

На основе спектров, полученных на 6-м телескопе САО АН СССР, проведено детальное спектрофотометрическое исследование галактики Маркарян 5. Полученные для яркого южного сгущения галактики результаты согласуются с данными работ [2, 16]. Обнаружены еще две эмиссионные области к северу от яркого сгущения. По морфологической структуре Маркарян 5 классифицируется как иррегулярная галактика с несколькими центрами звездообразования, хотя по физическим параметрам и обилию элементов не отличается от голубых карликовых компактных галактик.

1. *Введение.* В ходе исследования химической эволюции галактик и особенно начального содержания гелия во Вселенной особое внимание уделяется неразвитым звездным системам — карликовым голубым компактным галактикам (DBCG) [1—3], которые в настоящий момент переживают вспышку бурного звездообразования (см., например, [4]). При этом для получения однозначных выводов важно как увеличение выборки исследуемых объектов [5], так и улучшение качества их спектрального исследования [6].

Марк 5 — одна из немногих карликовых галактик из объектов Маркаряна, отождествленная как таковая еще в 1968 г. [7]. Она классифицирована как *Ip*-галактика [8], а морфологически детально исследована в [9]. Галактика имеет ярко выраженный голубой цвет [8], и содержит большое количество нейтрального водорода [10—12]. Она не регистрирована в радио и далекой инфракрасной областях спектра [13—15]. Спектрофотометрическое исследование яркой конденсации в Марк 5 [2, 16] позволило выявить факт дефицита содержания тяжелых элементов в ней, а также нормальное, космологическое содержание гелия.

В данной работе на основе большого количества высокодисперсионных спектров проводится детальное спектрофотометрическое исследование галактики Марк 5.

2. *Наблюдения и обработка.* Крупномасштабные прямые снимки Марк 5 получены 22/23 и 23/24 октября 1984 г. в фотографических лу-

чах в кассегреновском фокусе телескопа Цейсс-600 САО АН СССР, при изображениях около $2''$. Оба снимка с экспозициями соответственно 40 минут и 2 часа получены на эмульсии А-500 Н, чувствительной прогревом в водородной атмосфере. Оба снимка просканированы на микроденситометре АМД в ВЦ САО и построены их картины изоденс (рис. 1а, б).

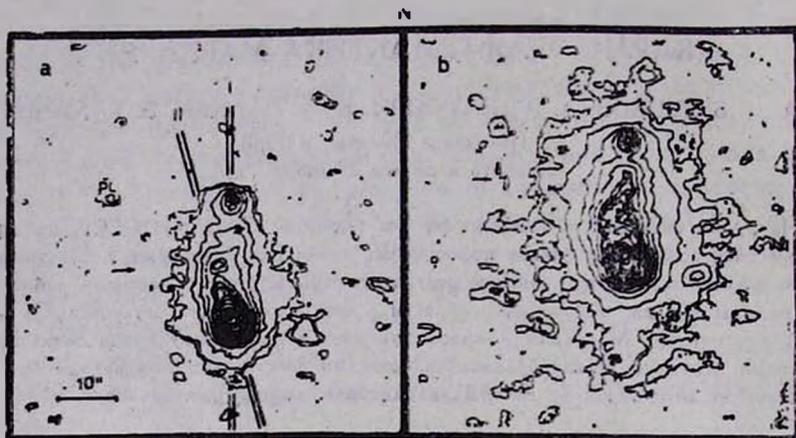


Рис. 1. Карты изоденс галактики Марк 5: а) Экспозиция снимка 40^м. Указаны положения щели при спектральных наблюдениях, а также сгущение 3 в галактике; б) Экспозиция снимка 2^ч. Указано положение сгущения 2 в галактике.

Спектры Марк 5 получены в первичном фокусе 6-м телескопа САО АН СССР со спектрографом СП-160 и ЭОП УМК-91В, при двух положениях щели спектрографа, которые указаны на рис. 1а. Данные о спектральных наблюдениях отдельно для каждого положения щели спектрографа приведены в табл. 1.

При спектральных наблюдениях в качестве звезд сравнения служили НЗ 15, 34 Фейджа и $BD +33^{\circ}2642$ [17].

При всех наблюдениях дисперсия на выходе ЭОП ~ 65 А/мм (разрешение ~ 5 А), масштаб перпендикулярно дисперсии составлял $\sim 17''$ /мм, а ширина щели спектрографа 0.15 мм ($1.''3$).

Регистрация спектров производилась на микроденситометре PDS-1010А БАО АН Арм.ССР, с высотой щели, равной $3.''4$.

3. Результаты. По внешним слабым изофотам галактика имеет почти правильную эллиптическую форму, в южном фокусе которой наблюдается компактное сгущение с высокой поверхностной яркостью. В клочковатом внутреннем объеме галактики можно выделить еще несколько сгущений с низкой поверхностной яркостью. На северную часть Марк 5 проецируется звезда галактического фона.

Спектр упомянутого компактного сгущения (сгущение 1) получен при обоих положениях щели спектрографа. По непрерывному излучению его спектр выделяется на общем фоне галактики. Кроме эмиссионных линий H_{γ} , H_{β} , H_{γ} , H_{δ} , H_{ϵ} , H_{ζ} и H_{η} бальмеровской серии водорода, в нем отождествлены запрещенные линии [S II], [N II], [O II], [O III] и [Ne III], а также линии однажды ионизированного гелия $\lambda\lambda$ 6678, 5876, 4471 АА.

Таблица 1
СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ МАРК 5

Положение щели	№ па.	Дата	Эксп. мин.	Спектр. диапазон А	Изобр. (угл. сек.)
I	183	22/23.10.81	20	5700—7200	3"
	184	" "	20	4600—6100	"
	185	" "	20	3600—5100	"
	350	9/10.12.82	10	3600—5100	2.5
	351	" "	12	4600—6100	"
	352	" "	21	5700—7200	"
	362	6/ 7.01.83	20	3600—5100	3
	363	" "	40	5700—7200	"
	364	" "	5	5700—7200	"
	365	" "	6	4600—6100	"
II	366	" "	12	3600—5100	"
	396 А	7/ 8.01.83	15	3600—5100	1.5—2
	396	" "	30	3600—5100	"
	397	" "	30	5700—7200	"

В спектре, полученном при первом положении щели спектрографа, на фоне слабого непрерывного излучения галактики, выявлены эмиссионные линии H_{γ} , H_{β} , [O III] $\lambda\lambda$ 5007, 4959 и [O II] λ 3727, излучаемые отмеченным стрелкой на рис. 1b сгущением низкой поверхностной яркости (сгущение 2). При втором положении щели отождествлены эмиссионные линии [O III] λ 5007, 4959 и H_{β} от сгущения, отмеченного стрелкой на рис. 1a (сгущение 3).

Все отождествленные эмиссионные линии в исследуемых спектрах фотометрированы. Наблюдаемые ($F_{\lambda}/F_{H_{\beta}}$) и исправленные за поглощение, согласно [18], значения относительных интенсивностей эмиссионных линий ($I_{\lambda}/I_{H_{\beta}}$) для трех сгущений Марк 5 приведены в табл. 2. Там же приведено число измеренных линий, по которым проводилось усреднение значений ее относительной интенсивности.

Присутствие эмиссионной линии [O III] λ 4363 в спектре сгущения 1 дает возможность непосредственно определить его электронную темпера-

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ
ЛИНИЙ H β В СГУЩЕНИЯХ МАРК 5

	Сгущение 1			Сгущение 2			Сгущение 3		
	$F_{\lambda}/F_{H\beta}$	$I_{\lambda}/I_{H\beta}$	№	$F_{\lambda}/F_{H\beta}$	$I_{\lambda}/I_{H\beta}$	№	$F_{\lambda}/F_{H\beta}$	$I_{\lambda}/I_{H\beta}$	№
[S II] λ 6731	0.15 \pm 0.06	0.12 \pm 0.05	4						
[S II] λ 6717	0.22 \pm 0.07	0.18 \pm 0.06	4						
He I λ 6678	0.007	0.006	1						
[N II] λ 6584	0.18 \pm 0.03	0.14 \pm 0.03	4						
H α λ 6563	3.46 \pm 0.33	2.80 \pm 0.37	5	3.27 \pm 0.20	2.80 \pm 0.24	5			
[N II] λ 6548	0.06 \pm 0.01	0.05 \pm 0.01	4						
[O III] λ 5007	3.00 \pm 0.46	3.71 \pm 0.45	7	3.34 \pm 0.44	3.28 \pm 0.43	5	3.84	3.77*	1
[O III] λ 4959	1.37 \pm 0.16	1.35 \pm 0.15	7	1.03 \pm 0.14	1.02 \pm 0.13	5	1.25	1.24*	1
H β λ 4861	1.00	1.00	7	1.00	1.00	5	1.00	1.00	1
He I λ 4471	0.05	0.05	2						
[O III] λ 4363	0.056 \pm 0.004	0.062 \pm 0.005	4						
H γ λ 4340	0.51 \pm 0.08	0.56 \pm 0.08	4						
N λ λ 4102	0.16 \pm 0.08	0.19 \pm 0.09	4						
H α + [Ne III] λ 3968	0.17 \pm 0.02	0.21 \pm 0.03	4						
H β + He I λ 3889	0.10 \pm 0.03	0.13 \pm 0.04	4						
[Ne III] λ 3869	0.27 \pm 0.06	0.33 \pm 0.08	4						
H α λ 3835	0.07	0.09	3						
[O II] λ 3727	2.05 \pm 0.31	2.63 \pm 0.49	4	3.46	4.14	3			
W (H β) A	173 \pm 43		7	18 \pm 6.0		5	—		

* Относительные интенсивности исправлены за покраснение с использованием значения $F_{H\alpha}/F_{H\beta}$ сгущения 2.

туру. По значению $R = I([\text{O III}] \lambda 5007 + 4959) / I([\text{O III}] \lambda 4363) = 81.6 \pm 10.2$, согласно работе [19], для T_e получено значение $15\,900 \pm 900$ К. Зная T_e , можно легко определить электронную плотность сгущения 1 по отношению интенсивности линий однажды ионизированной серы $[\text{S II}] \lambda 6717, 6731$. Она оказалась равной примерно 30 см^{-3} .

Значение электронной температуры для сгущения 2 оценено по эмпирической зависимости между T_e и отношением $I([\text{O III}] + [\text{O II}]) / I(\text{H}\beta)$ [20]. Оно оказалось порядка $10\,000$ К. Для дальнейших расчетов для значения n_e в объекте принято значение 100 см^{-3} .

Делая обычное для H II-областей предположение, что излучение в эмиссионных линиях обусловлено фотоионизацией коротковолновым излучением O—В звезд, произведен расчет содержания гелия, а также кислорода, азота и неона в сгущениях 1 и 2.

Содержание однажды ионизированного гелия (He^+) вычислено согласно [16] с использованием относительной интенсивности линии $\text{He I } \lambda 4471^*$. Общее содержание гелия вычислено согласно

$$\text{He}/\text{H} = \frac{\text{He}^0 + \text{He}^+}{\text{H}^+} = \frac{\text{He}^+}{\text{H}^+} ICF(\text{He}),$$

где $ICF(\text{He})$ — фактор ионизационной коррекции, приведенной в [21]:

$$ICF(\text{He}) = [1 - 0.25(\text{O}^+/\text{O})]^{-1}.$$

Ионное содержание кислорода, азота и неона вычислено с помощью зависимости

$$X^{+n}/\text{H}^+ = \frac{I(\lambda, X^{+n})}{I(\text{H}\beta)} \frac{E(\text{H}\beta)}{E(\lambda, X^{+n})},$$

где относительные к $\text{H}\beta$ излучательные способности $(E(\lambda, X^{+n})/E(\text{H}\beta))$ используемых при расчетах эмиссионных линий $[\text{O III}] \lambda 5007$, $[\text{O II}] \lambda 3727$ для кислорода, $[\text{N II}] \lambda 6584$ для азота и $[\text{Ne III}] \lambda 3869$ для неона заимствованы из работы [19]. Общее содержание этих элементов вычислено по обычным формулам (см., например, [22]).

Полученные значения логарифмов содержания указанных элементов при принятом количестве атомов водорода 10^{12} для сгущений 1 и 2 Марк 5 приведены в табл. 3. Для сравнения в табл. 3 приведено также содержание тех же элементов в ярком сгущении 1 согласно расчетам [2, 16]. Для более корректного сравнения данные работы [2] пересчитаны по новым зависимостям работы [19]. Полученные при $T_e = 12\,500$ К значения содержания гелия и тяжелых элементов приведены в кавычках.

* Более сильная линия $\text{He I } \lambda 5876$ blendируется с линиями $(D_1 + D_2) \text{ Na I}$ ночного неба.

4. **Выводы.** На основе большого числа щелевых спектров исследования физические условия и содержание элементов в галактике Марк 5. Использованный нами размер проекционной щелевой апертуры (1."3 × 3."4) отличается от использованной в [2] (2."4 × 4") и [16] (1."8 × 8."5). Несмотря на это, полученные значения относительных интенсивностей эмиссионных линий значимо не отличаются друг от друга.

Таблица 3

СОДЕРЖАНИЕ ГЕЛИЯ И ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СГУЩЕНИИ 1 И 2
ГАЛАКТИКИ МАРК 5

	12 + lg Ne/H	12 + lg O/H	12 + lg N/H	12 + lg Ne/H	lg N/O
Сгущение 1	10.90	7.65 ± 0.07	6.38 ± 0.17	7.45 ± 0.26	-1.27 ± 0.03
Сгущение 2		8.44			
Данные по [2]	10.98 (11.03)	8.26 (8.01)	6.70 (6.65)	7.60 (7.73)	-1.56 (-1.36)
Данные по [16]	11.25	7.48		7.03	

Эквивалентная ширина линии $H\beta$ в сгущении 1 с уменьшением апертуры показывает тенденцию к увеличению (по [16] $W_{H\beta} = 135 \text{ \AA}$, по [2] $W_{H\beta} = 150 \text{ \AA}$), что может быть следствием концентрации молодых звезд к центру сгущения.

По нашим данным величина покраснения для сгущения 1 $E(B-V)$ равна 0.17, что совпадает с результатом работы [2] ($E(B-V) = 0.19$).

Наши данные относительно содержания гелия и тяжелых элементов в сгущении 1 находятся в согласии с данными работ [2, 16].

Обнаружение эмиссионных линий в сгущениях 2 и 3 указывает на то, что они являются местами повышенной концентрации разбросанных по всему телу галактики молодых горячих звезд [8].

По содержанию тяжелых элементов и по физическим условиям Марк 5 не отличается от карликовых иррегулярных и карликовых компактных голубых галактик [23]. Ее морфологическая структура, «визуализированная» благодаря близкому расстоянию галактики ($r \sim 13 \text{ Мпк}$), а также наличие помимо сильно выделяющегося сгущения 1 других HII -областей делает возможным отнесение Марк 5 к классу карликовых иррегулярных галактик.

Специальная астрофизическая
обсерватория АН СССР

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

DWARF GALAXY MARKARIAN 5

A. N. BURENKOV, A. R. PETROSIAN, K. A. SAAKIAN, E. YE. KHACHIKIAN

The results of detailed spectrophotometrical investigation of the galaxy Markarian 5 the spectra obtained with the 6m telescope of SAO AS USSR are presented. Our data for the bright condensation in galaxy are in good agreement with the previous results [2, 16]. Two new emission line condensations have been detected. In morphological structure Markarian 5 was classified as an irregular galaxy having several centres of star formation, while in physical conditions and element abundances it does not differ from Blue Compact Dwarf Galaxies.

ЛИТЕРАТУРА

1. L. Searle, W. L. W. Sargent, *Astrophys. J.*, 173, 25, 1972.
2. H. B. French, *Astrophys. J.*, 240, 41, 1980.
3. D. Kunth, W. L. W. Sargent, *Astrophys. J.*, 300, 496, 1986.
4. L. Vigroux, G. Stasinska, G. Comte, *Astron. and Astrophys.*, 172, 15, 1987.
5. D. Kunth, W. L. W. Sargent, *Astrophys.*, 273, 81, 1983.
6. K. Davidson, T. D. Kinman, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 58, 321, 1985.
7. Д. В. Видман, Э. Е. Хачикян, *Астрофизика*, 4, 587, 1968.
8. J. P. Hachra, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 217, 928, 1977.
9. C. Barbieri, C. Bonoli, P. Rafanelli, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 37, 541, 1979.
10. T. X. Thuan, G. E. Martin, *Astrophys. J.*, 247, 823, 1981.
11. J. R. Fisher, R. B. Tully, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 47, 139, 1981.
12. W. K. Huchtmeier, O. G. Richter, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 63, 323, 1986.
13. P. Biermann, J. N. Clarke, K. J. Fricke, I. I. K. Pauliny-Toth, J. Schmidt, A. Witzel, *Astron. and Astrophys.*, 81, 235, 1980.
14. C. G. Wynn — Willtams, E. E. Becklin, *Astrophys. J.*, 308, 620, 1986.
15. H. A. Thronson, Jr., C. M. Telesco, *Astrophys. J.*, 311, 98, 1986.
16. J. Zamorano, M. Rego, *Astron. and Astrophys.*, 170, 31, 1986.
17. R. P. S. Stone, *Astrophys. J.*, 218, 767, 1977.
18. J. S. Mathis, *Astrophys. J.*, 159, 263, 1970.
19. J. Zamorano, M. Rego, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 62, 173, 1985.
20. P. A. Shaver, R. X. McGee, L. M. Newton, A. C. Danks, S. R. Pottasch, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 204, 53, 1983.
21. G. Stasinska, *Astron. and Astrophys.*, 84, 320, 1980.
22. M. Peimbert, R. Costero, *Boll. Observ. Tonantzintla y Tacubaya*, 5, 3, 1969.
23. А. Р. Петросян, *Сообщ. Бюракан. обс.*, 61, 1988.