

УДК: 524.726 Марк307

ДЕТАЛЬНОЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛАКТИКИ МАРК 307

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

Поступила 11 февраля 1987

Принята к печати 20 августа 1987

На основе спектров, полученных на 6-м телескопе САО АН СССР, проведено детальное спектрофотометрическое исследование спиральной галактики Марк 307. Для ядерной области и пяти сгущений в спиральных рукавах по относительным интенсивностям эмиссионных линий оценены значения T_e и n_e , содержания элементов O, N и S, массы и объемы ионизованного газа и число звезд типа O9. По своим параметрам ядерная область галактики идентична ядрам спиральных галактик. По всем физическим параметрам среди сгущений выделяется одна гигантская H II-область, которая по масштабам звездообразования, видимо, превосходит ядерную область галактики.

1. *Введение.* Марк 307 (NGC 7316, UGC 12098) одна из немногих спиральных галактик с ультрафиолетовым избытком с узкими эмиссионными линиями, которая неоднократно наблюдалась в оптическом, ИК- и радиодиапазонах. Значения ее красного смещения определены в работах [1—4]. Результаты *UBV*, *UBVR*, инфракрасных *JHK* наблюдений галактики с разными диафрагмами приведены в работах [5—7]. По наблюдениям IRAS Марк 307 является источником в далекой инфракрасной области спектра [8]. Галактика имеет слабое радиоизлучение на частотах 2380 МГц [9] и 1410 МГц [10], а на частотах 930 МГц [11], 2700 МГц [10] и 5000 МГц [12] радиоизлучение не зарегистрировано. В работе [3] приведены результаты наблюдения Марк 307 в линии 21 см. В [13] оценены светимости галактики в эмиссионных линиях H_2 и H_3 .

По наблюдениям на 2.6-м телескопе БАО АН Арм.ССР Марк 307 выглядит как SBc-галактика с ярким звездообразным ядром. В ее спиральных рукавах отождествлены четыре сверхассоциации (СА) [14]. Все четыре сверхассоциации расположены в одном спиральном рукаве, который разветвлен на три прямолинейные ветви, на концах двух из них расположены по одной СА. Галактика видна почти анфас.

В настоящей работе приводятся результаты детального спектрофотометрического исследования ядра Марк 307 и пяти сгущений, расположенных в ее спиральных рукавах.

2. *Наблюдательный материал и обработка.* Спектры Марк 307 получены в первичном фокусе 6-м телескопа САО АН СССР с помощью спектрографа СП-160 и ЭОП УМК-91В.

На рис. 1а, б воспроизведен прямой снимок Марк 307, полученный на 2.6-м телескопе с указанием: а) сгущений в спиральных рукавах; б) положения щели спектрографа при спектральных наблюдениях. Данные о спектральных наблюдениях приведены в табл. 1, причем для каждого положения щели спектрографа отдельно. При всех наблюдениях дисперсия равнялась 65 А/мм (разрешение ~ 5 А), а масштаб перпендикулярно дисперсии $\sim 17''/\text{мм}$. При наблюдениях 14.08.83 г. качество изображений было $1''\text{--}2''$, 17.08.83 г. — $3''\text{--}4''$. В качестве звезд сравнения были выбраны 15 Фейджа и BD + 25°3941 [15]. Обработка спектров производилась на микрофотометре PDS-1010А БАО АН Арм.ССР.

Таблица 1

ДАННЫЕ О СПЕКТРАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ
МАРК 307

Положение щели	Номер спектра	Дата наблюдения	Экспозиция (мин)	Спектральный диапазон (А)
I	БТА 1	14.08.83 г.	30	3600—5100
	2	"	15	4600—6100
	3	"	30	5700—7200
II	4	"	20	3600—5100
	5	"	15	4600—6100
III	6	"	21	5700—7200
	7	17.08.83 г.	11.5	3600—5100
	8	"	3	3600—5100
	9	"	11.5	4600—6100
	10	"	4	4600—6100
	11	"	15	5700—7200
	12	"	6	5700—7200

3. *Результаты.* При первом положении щели спектрографа (рис. 1б) в нее попадали второе (СА 2) и третье (СА 3) сгущения (рис. 1а). На спектрах по эмиссионным линиям и по довольно сильному непрерывному спектру второе сгущение разрешается на два компонента, обозначенных нами как СА 2А (южная часть СА 2) и СА 2В. Распределение непрерывного излучения у всех трех сгущений одинаковое. В их спектрах отождествлены эмиссионные линии [S II], [N II], H_{α} , [O III], H_{β} , H_{γ} , H_{δ} и [O II], причем у СА 3 линии H_{γ} и H_{δ} имеют компоненты в поглощении.

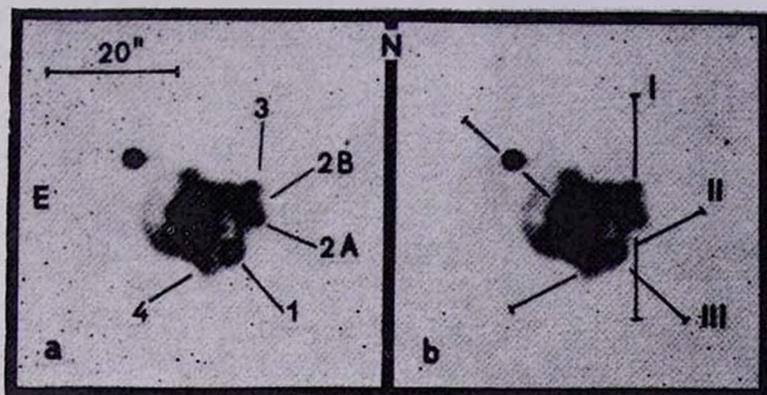


Рис. 1. Снимок галактики Марк 307 с указанием а) сгущений в спиральных рукавах галактики; б) положений щели спектрографа при спектральных наблюдениях.

К ст. А. Н. Буренкова и др.

При втором положении щели (рис. 1b) в нее попадали первое (СА 1) и четвертое (СА 4) сгущения (рис. 1a). Оба они обладают сильным непрерывным спектром, причем у СА 1 он значительно ярче в голубой области. В спектре СА 1 отождествлены эмиссионные линии [S II], [N II], H_7 , [O III], H_3 , H_2 , H_1 и [O II], а в спектре СА 4 — эмиссионные линии [N II] λ 6584, H_1 , [O III] λ 5007, H_3 и [O II]. В СА 4 линии H_7 и H_1 имеют „сложный“ профиль и большей частью наблюдаются в поглощении, у линии H_3 также наблюдается абсорбционный компонент.

При третьем положении щели (рис. 1b) получены спектры ядерной области Марк 307 и сгущения СА 1. В спектре ядра галактики, отождествлены линии [S II], [N II], H_1 , [O III] λ 5007, H_3 , H_7 с абсорбционным компонентом и [O II].

Все отождествленные эмиссионные линии на полученных спектрограммах были фотометрированы. Погрешности в определении интенсивностей этих линий составляют в среднем 30% для $I(\lambda) \geq I(H_3)$ и 40% для $I(\lambda) < I(H_3)$. Наблюдаемые и исправленные за поглощение согласно [16] значения относительных интенсивностей эмиссионных линий всех СА в Марк 307 приведены в табл. 2. В последней строке приведены значения эквивалентных ширин эмиссионной линии H_3 .

Для определения электронных температур использованы эмпирические зависимости между T_e и отношениями $I([\text{O III}] + [\text{O II}]) / I(H_3)$, $I(\text{O III}) / I([\text{N II}])$, приведенные в работах [17—19]. Усредненные значения T_e для всех сгущений приведены в табл. 3. Там же приведены значения электронных плотностей, вычисленные по соответствующим значениям T_e и по отношениям $I([\text{S II}] \lambda 6717) / I([\text{S II}] \lambda 6731)$ согласно [20]. Степень ионизации и возбуждения в ядерной области Марк 307 довольно низкая, поэтому определенные по [17—19] значения электронной температуры сопряжены с большими ошибками. Приведенные для нее в табл. 3 значения T_e — грубая оценка по [19]. Соответствующее значение n_e определено по этому T_e .

Таблица 3

ЗНАЧЕНИЯ T_e И n_e В МАРК 307

	Ядро	СА 1	СА 2А	СА 2В	СА 3	СА 4
T_e	~300J	6900	7900	6400	7800	5700
n_e	~ 100	85	340	300	280	—
$X = 0.01 n_e \sqrt{T_e}$	0.0127	0.0102	0.0383	0.0375	0.0317	—

По значениям $I([\text{O III}]) / I(H_3)$ и $I([\text{N II}]) / I(H_2)$ все исследуемые образования Марк 307 являются объектами, в которых излучение в



Таблица 2

ЗНАЧЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ И ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ШИРИН
ЛИНИЙ $H\beta$ В ЯДРЕ И СВЕРХАССОЦИАЦИЯХ МАРК 307

	ЯДРО		СА 1		СА 2А		СА 2В		СА 3		СА 4	
	$(I_b/I_{H\beta})$	$(I_b/I_{H\beta})^*$	$(I_b/I_{H\beta})$									
	набл.	испр.	набл.	испр.								
[S II] λ 6731	0.81	0.38	0.41	0.24	0.30	0.16	0.62	0.37	0.65	0.34	—	—
[S II] λ 6717	1.08	0.50	0.55	0.32	0.34	0.18	0.72	0.43	0.78	0.41	—	—
[N II] λ 6584	2.40	1.16	1.54	0.92	1.15	0.63	2.07	1.28	1.76	0.97	1.53	0.75
$H\alpha$	5.80	2.83	4.70	2.82	5.22	2.84	4.58	2.84	5.13	2.82	5.65	2.81
[N II] λ 6548	0.90	0.44	0.47	0.28	0.40	0.22	0.70	0.43	0.65	0.36	0.51	0.25
[O III] λ 5007	0.22	0.20	1.06	1.00	1.83	1.72	0.89	0.85	1.44	1.35	0.41	0.38
[O III] λ 4959	0.07	0.07	0.32	0.31	0.66	0.63	0.32	0.31	0.50	0.48	0.14	0.13
$H\beta$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$H\gamma$	0.17	0.24	0.22	0.37	0.38	0.51	0.36	0.45	0.22	0.30	—	—
$H\delta$	—	—	—	—	0.12	0.19	0.12	0.17	0.08	0.12	—	—
[O II] λ 3727	0.32	0.74	1.15	2.09	1.27	2.61	1.00	1.77	1.53	3.08	0.70	1.59
$W_{H\beta}$ (A)	3.0		14.9		15.7		13.8		9.8		3.3	

Примечание. Двоеточие указывает на то, что интенсивности линий [N II] λ 6548 и [O III] λ 4959 приняты равными 1/3 интенсивности линии [N II] λ 6584 и [O III] λ 5007 соответственно. * Учтено влияние абсорбционного компонента $H\beta$.

эмиссионных линиях обусловлено фотоионизацией коротковолновым излучением горячих O—B звезд [21]. На основе отношения O^{++}/O^+ оценены спектральные классы звезд, которые могут обеспечить эмиссионный спектр этих объектов. Они оказались примерно O9—B0 [22, 23]. Причем спектральный класс этих звезд для ядерной области и СА 4 получается более поздним. Имея эти данные, мы произвели расчет содержания кислорода, азота и серы в сгущениях, согласно [24, 25]. Отметим, что полученное нами содержание серы является нижним пределом реального (см., например, [26]). Полученные значения логарифмов содержания тяжелых элементов для ядра и пяти СА приведены в табл. 4.

Таблица 4

ЛОГАРИФМЫ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В МАРК 307

	lg O	lg N	lg S	N/O
Ядро	9.3	—	—	—
СА 1	8.79	7.77	>7.49	0.095
СА 2A	8.64	7.46	>7.19	0.067
СА 2B	8.93	8.02	>7.74	0.123
СА 3	8.68	7.62	>7.45	0.086
СА 4	8.9	—	—	—
Ядро спиральной гал.	9.03	8.16	—	0.135
Н II-области	8.60	7.59	>7.26	0.098
Солнце	8.92	7.99	7.23	0.117

Из-за невысокого значения T_e в ядерной области Марк 307 произвести расчет содержания тяжелых элементов по [24, 25] невозможно (см., например, [27]). Поэтому в табл. 4 для ядерной области приведено оцененное согласно [19, 28] значение содержания кислорода. Из-за отсутствия точного значения n_e для расчетов содержания кислорода в СА 4 также оценено по [19, 28].

В табл. 4 для сравнения приведены содержания тех же элементов для ядер спиральных галактик [17], галактических Н II областей [29] и для Солнца [30, 31]. Оцененные, согласно [14], звездные величины ядра и пяти СА Марк 307 в цвете B приведены в табл. 5. Используя эти оценки, а также приведенные в табл. 2 значения эквивалентных ширины линии, мы получили для них наблюдаемые абсолютные потоки в линии $H\beta$, и на их основе были вычислены: исправленные за поглощение абсолютные светимости в линии $H\beta$ ($H = 75$ км/с Мпк); эффективные объемы и массы излучающего газа, а также факторы скважности в них; количество лаймановских квантов, излучаемых ими [32]; и по данным работы [23] количе-

Таблица 5

ЗНАЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

	Ядро	СА 1	СА 2А	СА 2В	СА 3	СА 4
m_B	17 ^{m3}	18 ^{m0}	19 ^{m6}	19 ^{m9}	19 ^{m4}	19 ^{m8}
$F_{H\beta}$ (эрг см ⁻² с ⁻¹)	$(1 \pm 0.5) \cdot 10^{-15}$	$(3 \pm 1.4) \cdot 10^{-15}$	$(7 \pm 3.4) \cdot 10^{-16}$	$(5 \pm 2.2) \cdot 10^{-16}$	$(5 \pm 2.5) \cdot 10^{-16}$	$(1 \pm 0.5) \cdot 10^{-16}$
$L_{H\beta}$ (эрг с ⁻¹)	$6.8 \cdot 10^{39}$	$1.1 \cdot 10^{40}$	$3.4 \cdot 10^{39}$	$1.6 \cdot 10^{39}$	$2.3 \cdot 10^{39}$	$6.6 \cdot 10^{34}$
$I_{H\beta}$ (эрг см ⁻³ с ⁻¹)	$3.5 \cdot 10^{-21}$	$1.2 \cdot 10^{-21}$	$1.8 \cdot 10^{-20}$	$1.7 \cdot 10^{-20}$	$1.2 \cdot 10^{-20}$	—
$V_{эфф}$ (см ³)	$2 \cdot 10^{60}$	$9 \cdot 10^{60}$	$1.9 \cdot 10^{60}$	$9.2 \cdot 10^{59}$	$1.9 \cdot 10^{60}$	—
ΣX (ΣX_{\odot})	$1.6 \cdot 10^5$	$6.3 \cdot 10^5$	$5.5 \cdot 10^4$	$2.3 \cdot 10^4$	$4.4 \cdot 10^4$	—
α	$7.4 \cdot 10^{-5}$	$3.3 \cdot 10^{-4}$	$4.6 \cdot 10^{-4}$	$2.2 \cdot 10^{-4}$	$4.4 \cdot 10^{-4}$	—
$N_{Ly\alpha}$ (с ⁻¹)	$1.3 \cdot 10^{50}$	$2.1 \cdot 10^{50}$	$6.7 \cdot 10^{51}$	$3.1 \cdot 10^{51}$	$4.5 \cdot 10^{51}$	$1.3 \cdot 10^{51}$
N_0 (O9)	6100	9900	3200	1500	2100	600

ство звезд типа O9, способных излучать такое количество лаймановских квантов. Значения всех отмеченных физических характеристик, вычисленных для ядерной области и для пяти сгущений, приведены в табл. 5.

4. *Выводы.* Ядерная область Марк 307 отличается сравнительно большим содержанием кислорода, относительно низким значением электронной температуры и поздним классом ионизирующих звезд. Этим он не отличается от ядер спиральных галактик, со вспышкой звездообразования [17, 33, 34].

Все изученные сгущения в спиральных рукавах Марк 307 являются сверхассоциациями. Среди них по абсолютной интегральной светимости, по размеру, по массе ионизованного газа и количеству молодых звезд резко выделяется SA 1. Она по темпу звездообразования превосходит даже ядерную область галактики.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

Специальная астрофизическая
обсерватория АН СССР

DETAILED SPECTROPHOTOMETRIC INVESTIGATION OF THE GALAXY MARK 307

A. N. FURENKOV, A. R. PETROSSIAN, K. A. SAHAKIAN, E. YE. KHACHIKIAN

The results of detailed spectrophotometric investigation of Mark 307 carried out with the 6-m telescope of SAO AS USSR are presented. By means of intensity ratios of emission lines T_e , N_e , the abundances of O, N, S, the masses and volumes of the emitting gas and the numbers of the O9 type stars for all condensations of the galaxy are estimated. The nucleus of Mark 307 is identical to the nuclei of spiral galaxies. One of the condensations is distinguished as the supergiant HII region. The star formation rate in it is probably higher than in the nuclear region of the galaxy.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Аракелян, Э. А. Дубай, В. Ф. Есипов, *Астрофизика*, 8, 177, 1972.
2. J. Huchra, W. L. W. Sargent, *Astrophys. J.*, 186, 433, 1973.
3. N. Krupp, E. E. Salpeter, *Astron. J.*, 85, 1312, 1980.
4. J. Huchra, M. Davis, D. Latham, J. Tonry, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 52, 89, 1983.
5. D. W. Weedman, *Astrophys. J.*, 183, 29, 1973.
6. J. P. Huchra, Ph. D. Thesis, Pasadena, 1977.

7. V. A. Balzano, D. W. Weedman, *Astrophys. J.*, 243, 756, 1981.
8. L. K. Deutsch, S. P. Willner, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 63, 803, 1987.
9. L. L. Dressel, J. J. Condon, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 36, 53, 1978.
10. J. H. Bleging, P. Biermann, K. Fricke, I. I. Pauliny-Toth, A. Witzel, *Astron. and Astrophys.*, 60, 353, 1977.
11. H. M. Toumassian, Y. Terzian, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 86, 645, 1974.
12. P. Biermann, J. N. Clarke, K. J. Fricke, I. I. Pauliny-Toth, J. Schmidt, A. Witzel, *Astron. and Astrophys.*, 81, 235, 1980.
13. V. A. Balzano, *Astrophys. J.*, 268, 602, 1983.
14. А. Р. Петросян, К. А. Саакян, Э. Е. Хачикян, *Астрофизика*, 19, 619, 1983.
15. R. P. S. Stone, *Astrophys. J.*, 218, 767, 1977.
16. J. S. Mathis, *Astrophys. J.*, 159, 263, 1970.
17. D. Alloin, S. Collin-Souffrin, M. Joly, L. Vigroux, *Astron. and Astrophys.*, 78, 200, 1979.
18. B. E. Pagel, M. G. Edmunds, D. E. Blackwell, M. S. Chun, G. Smith, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 189, 95, 1979.
19. P. A. Shaver, R. X. McGee, L. M. Newton, A. C. Danks, S. R. Pottash, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 204, 53, 1983.
20. И. В. Носов, *Астрон. циркуляр*, № 1050, 1979.
21. J. H. Baldwin, M. M. Phillips, R. Terlevich, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 93, 5, 1981.
22. J. B. Kaler, *Astrophys. J.*, 210, 843, 1976.
23. P. G. Mezger, L. F. Smith, E. Churchwell, *Astron. and Astrophys.*, 32, 269, 1974.
24. M. Peimbert, S. Torres-Peimbert, *Astrophys. J.*, 168, 413, 1971.
25. P. Benvenuti, S. D'Odorico, M. Peimbert, *Astron. and Astrophys.*, 28, 447, 1973.
26. J. B. Kaler, *Astrophys. J.*, 244, 54, 1981.
27. M. Peimbert, R. Costero, *Bol. Observ. Tonantzintla Tacubaya*, 5, 3, 1969.
28. M. G. Edmunds, B. E. J. Pagel, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 211, 507, 1984.
29. S. A. Hawley, *Astrophys. J.*, 224, 417, 1978.
30. D. L. Lambert, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 182, 249, 1978.
31. D. L. Lambert, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 183, 79, 1978.
32. S. R. Pottash, *Vistas Astron.*, 6, 149, 1965.
33. M. G. Pastoriza, H. A. Dottori, *Astrophys. J.*, 244, 27, 1981.
34. Y. Taniguchi, *Publ. Astron. Soc. Jap.*, 38, 571, 1986.