

УДК 524.7.84

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ ДВУХ ЭМИССИОННЫХ ОБЛАСТЕЙ В ИРРЕГУЛЯРНОЙ ГАЛАКТИКЕ NGC 3448

Н. К. АНДРЕАСЯН

Поступила 5 августа 1983

Принята к печати 20 января 1984

Приводятся изоденсы галактики NGC 3448 и результаты спектрофотометрического исследования двух областей. Прямые фотографии получены в первичном фокусе 2.6-м телескопа Бюраканской обсерватории (масштаб $21''/\text{мм}$), а спектрограммы — в первичном фокусе 6-м телескопа САО АН СССР (дисперсия $\approx 65 \text{ \AA}/\text{мм}$). Определены физические параметры ионизованного газа, которые оказались похожими на таковые в H II-областях, и химический состав.

1. *Введение.* Галактика NGC 3448 отнесена Вокулером к классу I0 [1]. Арп поместил ее фотографию в атласе пекулярных галактик — NGC 3448 = Arp 205 [2], а Ходж обнаружил в ней полосы пыли и яркие сгущения [3]. Кринк и Ходж [4], а позднее Котрелл [5] предположили, что наблюдаемые у NGC 3448 особенности, присущие классу Iгг II, можно объяснить как результат взаимодействия со спиральной галактикой, которая находится на расстоянии $3.8'$ от NGC 3448. Красное смещение NGC 3448 определено Вокулером по линиям ионов H^+ , O^{++} , O^{++} , N^+ и S^+ , которые обнаруживаются в ее интегральном спектре [6]. Исходя из интегральных параметров, Петерсон и Шостак считают более приемлемым отнести NGC 3448 к классу SBO/ар [7].

В настоящей статье приводятся изоденсы NGC 3448, построенные по крупномасштабным фотографиям, и результаты спектрофотометрии двух эмиссионных областей в этой галактике.

2. *Наблюдения.* Прямые фотографии NGC 3448 получены в первичном фокусе 2.6-м телескопа Бюраканской обсерватории с экспозицией 50, 40 и 45 мин соответственно в U, B и V цветах. Сочетания пластинок и фильтров, использованных при наблюдениях, обеспечивали цветовую систему, довольно близкую к UVB-системе, и описаны в работе [8]. На рис. 1 приведены изоденсы NGC 3448, построенные с помощью микроден-

ситометра PDS и факсимильного устройства «Штрих-М». Центральная область галактики, как видно на рис. 1, имеет сложную, почти одинаковую во всех трех цветах структуру, подробности которой не разрешаются на картине изоденс. На расстоянии $30''$ (примерно 3 кпс при $H = 75 \text{ Мпс}^{-1} \text{ км/с}$) к северо-западу от центра расположено сгущение, по яркости несколько уступающее во всех трех цветах центральному сгущению. В противоположную от этого сгущения сторону простирается яркий хвост, и вся описанная система окутана общей оболочкой, которая не проявляется на U фотографиях.

Спектрограммы NGC 3448 получены в первичном фокусе 6-м телескопа САО АН СССР с помощью спектрографа СП-160 и ЭОП типа М9Ц-В. Основные сведения об этих спектрограммах приведены в табл. 1. Средняя дисперсия спектрограмм равна 65 А/мм, масштаб в перпендикулярном дисперсии направлении $16''/\text{мм}$, среднее спектральное разрешение — примерно 5 А.

Таблица 1

Дата	Спектр. область (А)	Ширина щели	Эксп. (мин)	Положение щели
20.2.1980	3750—5050	1.3	15	I сгущение
" " "	4800—6000	"	"	"
" " "	5800—7000	"	"	"
" " "	"	"	"	II сгущение
24.2.1980	"	"	60	"
" " "	3750—5050	"	"	"
25.2.1980	5800—7000	"	40	оба сгущения

Для калибровки спектральной чувствительности аппаратуры получены спектры стандартных звезд Feige-34 и HZ-15, спектрофотометрические характеристики которых приведены в работе [9]. На рис. 2 приведен спектр NGC 3448, охватывающий спектральную область 5800—7000 А (оба сгущения). Обработка спектров производилась по методике, описанной в работе [8].

3. *Результаты спектрофотометрии и редукция данных.* В спектре центральной части NGC 3448 наблюдаются эмиссионные линии [S II] $\lambda\lambda$ 6731 и 6717, [N II] $\lambda\lambda$ 6584 и 6548, H_2 , [O I] 6300, [O III] $\lambda\lambda$ 5007 и 4959, H_3 , H_7 , [O II] λ 3727. Все перечисленные линии наблюдаются также в спектре сгущения в северо-западной части галактики. Линия H_7 имеет в этом спектре абсорбционный компонент, который смещен в длинноволновую сторону относительно эмиссионного компонента и имеет большую ширину. Профиль линии H_7 в спектре сгущения II показан на рис. 3.



Рис. 1. Иоденсы NGC 34 48 в *U*, *B* и *V* цвета (север сверху).

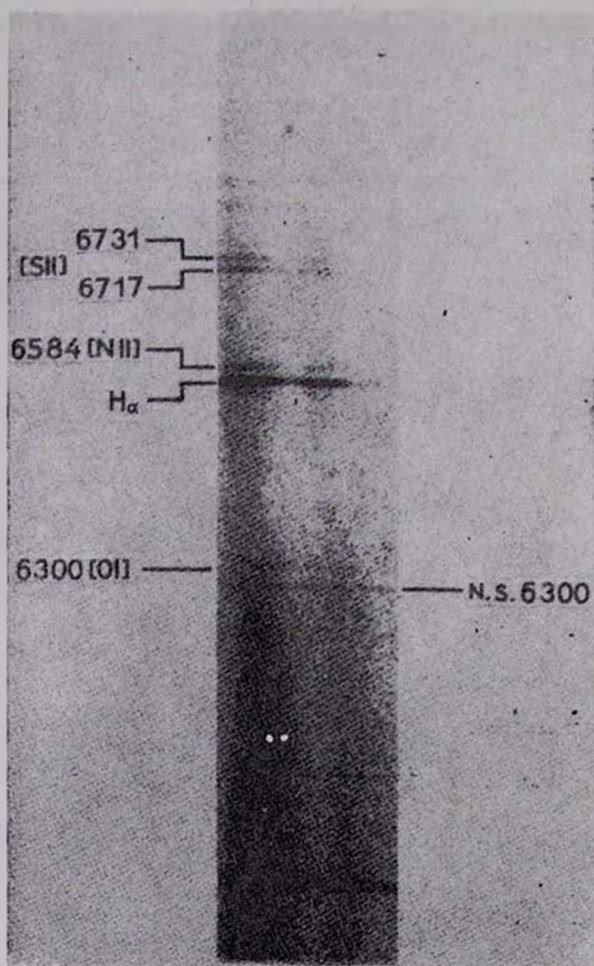


Рис. 2. Спектр NGC 3448 (область 5800—7000 Å).

К ст. Н. К. Андреасян

Разница красных смещений эмиссионного и абсорбционного компонентов составляет примерно 100 км/с.

В табл. 2 приведены эквивалентные ширины спектральных линий NGC 3448, а также наблюдаемые и исправленные за покраснение и влияние спектра поглощения значения относительных интенсивностей. Коэффициенты покраснения вычислены как обычно, в предположении, что эмиссионный бальмеровский спектр имеет рекомбинационное происхождение (случай В, $T_e = 10^4$ К, $N_e = 10^2$ см $^{-3}$ [10]), а поглощение происходит по нормальному закону. Предварительно исключено влияние линий поглощения на бальмеровский декремент. Для второго сгущения это сделано

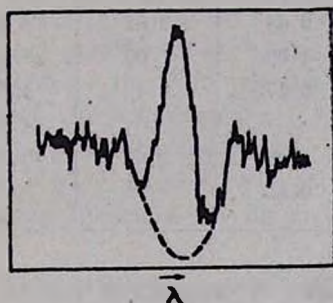


Рис. 3. Профиль линии H_1 в спектре северо-западного сгущения.

исходя из того, что $W(H_1)_{\text{абс}}$ соответствует усредненному значению для спектральных классов В1—В3, а эквивалентные ширины H_α и H_β усреднены по приведенным в работе [13] значениям $W_{\text{абс}}$ для этих классов. Влияние спектра поглощения для сгущения I определено расчетным путем при следующих предпосылках: эмиссионный бальмеровский спектр имеет рекомбинационное происхождение (случай В); после учета влияния линий поглощения коэффициенты покраснения, определенные по отношению интенсивностей линий H_α/H_β и H_1/H_β , должны совпадать. Значения логарифмического коэффициента покраснения в линии H_β приведены в последней строке табл. 2.

Ошибка измерений эквивалентных ширин в среднем порядка 15%.

Исключив галактическое поглощение из общего, можно найти величину поглощения в линии H_β внутри NGC 3448. Для I и II сгущений получаются величины $1^{\text{m}}62$ и $1^{\text{m}}07$ соответственно. Такого порядка поглощение наблюдается у ранних спиралей, обращенных к нам ребром [12], а также у сейфертовых галактик [13]. В галактике М 82, которая является прототипом галактик Iгг II, Пеймберт и Спинрад определили поглощение $4^{\text{m}}2$ в линии H_β [14].

Таблица 2

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ

Линия	I сгущение			II сгущение		
	W	$(I/I_{H\beta})_{\text{набл.}}$	$(I/I_{H\beta})_{\text{испр.}}$	W	$(I/I_{H\beta})_{\text{набл.}}$	$(I/I_{H\beta})_{\text{испр.}}$
6731 [S II]	11.63	0.51	0.27	4.32	0.19	0.10
6717 [S II]	14.53	0.59	0.31	4.63	0.20	0.11
6584 [N II]	18.08	0.80	0.43	11.31	0.33	0.26
6563 H α	102.50	5.55	2.87	97.87	5.79	2.86
6548 [N II]	5.70	0.27	0.14	3.91	0.11	0.10
6300 [O I]	6.75	1.04	0.61	6.99	0.48	0.29
5007 [O II]	78.37	2.18	2.08	55.24	2.95	2.80
4959 [O III]	25.81	0.63	0.61	17.80	0.98	0.95
4861 H β	34.30	1.00	1.00	20.15	1.00	1.00
4340 H γ	7.97	0.27	0.46	3.70	0.34	0.46
4340 H γ abc	—	—	—	4.60	—	—
3727 [O II]	57.06	1.42	2.47	70.42	4.21	6.93
C (H β)		0.80			0.73	

4. *Физические условия и химический состав.* Спектральные характеристики двух сгущений в NGC 3448 легко можно объяснить излучением газа, ионизованного под влиянием излучения горячих звезд. Применение к этим сгущениям классификационного метода Болдуина и др. [15] показывает, что возбуждение в них происходит как в нормальных H II-областях: $\langle \Delta E \rangle = 0.06$ и $(3727/5007) = 0.09$ для сгущения I; $\langle \Delta E \rangle = -0.08$ и $(3727/5007) = 0.36$ для сгущения II, где $\langle \Delta E \rangle$ представляет собой среднюю разницу возбуждений разных ионизационных зон, как это определяется в [15], а $(3727/5007)$ — логарифм отношения интенсивностей этих линий после учета покраснения. Обе пары приведенных выше значений характерны для нормальных H II-областей.

Для спиральных галактик наблюдается корреляция между эквивалентной шириной линии H β и индексом возбуждения $r = \frac{I[\text{O III}]}{I[\text{O II}]}$ [16—18],

такая же корреляция, правда с большей дисперсией, наблюдается для irregулярных галактик [19], и по эквивалентной ширине H β можно судить об эффективной температуре ионизующих газ звезд. Индексы возбуждения r для сгущений I и II равны соответственно 1.09 и 0.57 и, как это видно из табл. 2, $W(\text{H}\beta)$ и в этом случае коррелирует с r . Судя по $W(\text{H}\beta)$ ионизацию в обеих областях вызывают звезды в среднем ранних В-классов: эффективная температура этих звезд в среднем не превышает $3.5 \cdot 10^4$ К. Следует отметить, что в то время, как у

спиральных галактик индекс возбуждения и $W(H_2)$ возрастают от центра к перифериям, у NGC 3448 наблюдается обратное явление — индекс возбуждения (и $W(H_2)$) в центральном сгущении больше, чем в северо-западном.

Электронные температуры эмиссионных областей NGC 3448 определены двумя методами: по эмпирической связи между отношением интенсивностей $[O III] + [O II]/H_2$ и T_e [20] и по связи между отношением интенсивностей линий $[O III]/[N II]$ и T_e [21]. Значения электронной температуры первого сгущения, определенные обоими методами, довольно близки: $0.8 \cdot 10^4$ K и $0.98 \cdot 10^4$ K, а для второго сгущения расхождение несколько больше: $1.3 \cdot 10^4$ K и $0.98 \cdot 10^4$ K. Более надежно, по-видимому, первое значение, так как второй метод включает в себя предположение о нормальном химическом составе и, как показано в работе [22], при реальном отклонении N/O от нормального значения, этот метод менее надежен. Приняты средневзвешенные значения температуры $0.81 \cdot 10^4$ K и $1.2 \cdot 10^4$ K для первого и второго сгущений соответственно.

Электронные плотности мы определили по отношениям интенсивностей линий $[S II]$ $\lambda\lambda$ 6717 и 6731, используя результаты работы [23]. Для сгущений I и II получаются значения $3.8 \cdot 10^2$ см $^{-3}$ и $4.8 \cdot 10^2$ см $^{-3}$ соответственно.

По относительным интенсивностям линий ионов кислорода, азота и серы определено относительное содержание этих ионов в рассматриваемых сгущениях. Расчеты произведены по формулам, приведенным в работе Пеймберта и Костеро [24]. Для серы использованы новые атомные данные [25]. При расчетах возможные температурные флуктуации в излучающих областях не принимались во внимание. Так как условия ионизации и возбуждения в обоих сгущениях заметно не отличаются от таковых в H II-областях, то полное содержание кислорода и азота можно определить, следуя работе [24]. Доступная наблюдениям спектральная область не охватывала линии $[S III]$ $\lambda\lambda$ 9069 и 9532, и содержание серы удобно определить по эмпирической формуле, приведенной в работе [26]. Содержание же тяжелых элементов по массе можно определить по содержанию кислорода [27, 28]. В табл. 3 приведены значения относительного содержания ионов O^+ , O^{++} , N^+ , S^+ , логарифмы полного содержания кислорода, азота и серы при $\lg(H) = 12$, содержание тяжелых элементов по массе Z . Для сравнения в табл. 3 приведены также соответствующие данные для H II-областей [29].

Из табл. 3 видно, что в центральном сгущении NGC 3448 химический состав мало отличается от химического состава H II-областей, в то время как в северо-западном сгущении есть заметный дефицит тяжелых элементов.

Таблица 3

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ В СГУЩЕНИЯХ NGC 3448

	I сгущение	II сгущение	H II-области
$N(O^+)/N(H^+)$	$2.52 \cdot 10^{-4}$	$1.31 \cdot 10^{-4}$	
$N(O^{++})/N(H^+)$	$1.44 \cdot 10^{-4}$	$0.53 \cdot 10^{-4}$	
$I_g(O)$	8.60	8.26	8.60
$N(N^+)/N(H^+)$	$1.27 \cdot 10^{-5}$	$0.20 \cdot 10^{-5}$	
$I_g(N)$	7.30	6.45	7.59
$N(S^+)/N(H^+)$	$0.21 \cdot 10^{-5}$	$0.03 \cdot 10^{-5}$	
$I_g(S)$	7.10	6.18	7.26

5. *Обсуждение результатов.* Спектральное исследование галактики NGC 3448 показывает, что в ней присутствуют две области, имеющие довольно сильный непрерывный спектр, на который наложены линии излучения ионизованного газа. На картинах изоденс эти области имеют самостоятельную концентрическую структуру. В спектрах обеих областей заметно присутствие линий поглощения звезд ранних спектральных классов. Физическое состояние и условия ионизации газа в этих областях такие, как в нормальных H II-областях умеренного возбуждения. Отношение интенсивностей линий [N II] и H_α , которое в общем зависит от химического состава, электронной температуры и механизма ионизации, равно 0.16 и 0.12 в центральной и северо-западной областях соответственно. Такие значения этого отношения характерны для спиральных рукавов, в ядерных же областях оно порядка или больше единицы (например, [30, 31]). Химический состав центрального сгущения примерно такой, как в H II-областях. В северо-западной области имеется ощутимый дефицит тяжелых элементов, характерный для объектов с продолжающимся звездообразованием (см. например, [28, 32, 33]).

Судя по всему, в галактике NGC 3448 довольно интенсивен процесс звездообразования, мощными очагами которого являются две рассмотренные области. Присутствие таких областей в NGC 3448 не исключение для класса галактик Iгг II — у некоторых представителей этого класса, как, например, NGC 972, NGC 4433 [34], NGC 2814 [8], также обнаружены области, по своим характеристикам похожие на сгущения NGC 3448. В этом смысле выделение класса Iгг II, по-видимому, формально, так как очаги звездообразования присутствуют в ряде других иррегулярных галактик, не принадлежавших к классу Iгг II (например, [35]). Предполагается, что подобные области представляют собой «ячейки», где происходит процесс стохастического самораспространяющегося звездообразования (SSPSF) [36]. Возможно, что две области в NGC 3448 являются такими же «ячейками».

Автор выражает глубокую благодарность академику В. А. Амбарцумяну за ценные замечания, проф. Э. Е. Хачикяну за обсуждение работы, А. Н. Буренкову и А. С. Амирханяну за помощь при получении наблюдательного материала.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

SPECTROPHOTOMETRY OF TWO EMISSION REGIONS IN THE IRREGULAR GALAXY NGC 3448

N. K. ANDREASSIAN

The isodensities of the galaxy NGC 3448 and results of spectrophotometry of two regions in it are presented. Direct photographs were obtained in the prime focus of the 2.6 m telescope of the Byurakan Observatory (scale 21"/mm), spectra were taken in the prime focus of 6-m telescope (dispersion $\sim 65 \text{ \AA/mm}$). Physical parameters of ionized gas which appear to resemble those in H II regions and chemical abundances were estimated.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. de Vaucouleurs, Ap. J., Suppl. ser., 74, 31, 1963.
2. H. Arp, Ap. J., Suppl. ser., No. 123, 1, 1966.
3. P. W. Hodge, Ap. J., 146, 593, 1966.
4. O. K. Krisenke, P. W. Hodge, A. J., 79, 1242, 1974.
5. G. A. Cottrell, M. N. RAS, 184, 259, 1978.
6. A. de Vaucouleurs, G. de Vaucouleurs, A. J., 72, 730, 1967.
7. S. O. Peterson, G. S. Shostak, A. J., 79, 767, 1974.
8. Н. К. Андреасян, Астрофизика, 19, 45, 1983.
9. R. P. S. Stone, Ap. J., 218, 767, 1977.
10. M. Brocklehurst, M. N. RAS, 153, 471, 1971.
11. S. Gunther, Z. Astrophys., 7, 106, 1933.
12. E. Holmberg, Modd. Lund Obs., Ser. II, 136, 1958.
13. D. C. Osterbrock, Nuclei of Galaxies, ed. D. J. O'Connell, New York, Elsevier, 1974.
14. M. Peimbert, H. Spitzrad, Ap. J., 160, 429, 1970.
15. J. A. Baldwin, M. M. Phillips, R. Terlevitch, P. A. S. P., 93, 5, 1981.
16. L. Searl, Ap. J., 168, 327, 1971.
17. G. A. Shields, B. M. Tinsley, Ap. J., 203, 66, 1976.
18. H. E. Smith, Ap. J., 199, 591, 1975.
19. D. Alloin, J. Bergeron, D. Pelat, Astron. Astrophys., 70, 141, 1978.
20. B. E. J. Pagel, M. G. Edmunds, D. E. Blackwell, M. S. Chun, G. Smith M. N. RAS., 189, 95, 1979.

21. *D. Alloin, S. Collin-Souffrin, M. Joly, L. Vigrcux*, *Astron. Astrophys.*, 78, 200 1979.
22. *G. Stasinska, D. Alloin, S. Collin-Souffrin, M. Joly*, ESO preprint, 96, 1980.
23. *Н. К. Носов*, *Астрон. циркул.*, № 1050, 1979.
24. *M. Peimbert, R. Costero*, *Bol. Obs. Tonantzintla*, 5, 3, 1969.
25. *A. K. Pradhan*, *M. N. RAS*, 184, 89p, 1978.
26. *G. Stasinska*, *Astron. Astrophys.*, 66, 257, 1978.
27. *M. Peimbert, S. Torres-Peimbert*, *Ap. J.*, 193, 327, 1974.
28. *J. Lequeux, M. Peimbert, J. E. Rayo, A. Serrano, S. Torres-Peimbert*, *Astron. Astrophys.*, 80, 155, 1979.
29. *S. A. Hawley*, *Ap. J.*, 224, 417, 1978.
30. *E. M. Burbidge, G. R. Burbidge*, *Ap. J.*, 142, 634, 1965.
31. *J. Warner*, *Ap. J.*, 186, 21, 1973.
32. *A. M. Boesgaard, S. Edwards, M. J. Heilmann*, *Ap. J.*, 252, 487, 1982.
33. *Y. Taniuchi, S. Tamura*, *P. A. S. Japan*, 33, 653, 1981.
34. *Н. К. Андреасян, Э. Е. Хачикян*, *Астрофизика*, 15, 577, 1979.
35. *D. A. Hunter*, *Ap. J.*, 260, 81, 1982.
35. *P. Selden, H. Gerola*, *Ap. J.*, 233, 56, 1979.