

УДК: 524.45Марк1118:520.8

ДЕТАЛЬНОЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ И СПЕКТРОФОТО-
МЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛАКТИКИ
МАРКАРЯН 1118

А. Н. БУРЕНКОВ, А. Р. ПЕТРОСЯН, А. Б. САРКИСЯН, Э. Е. ХАЧИКЯН

Поступила 9 ноября 1987

Принята к печати 20 апреля 1988

Приведены результаты детального спектрофотометрического и морфологического исследования галактики Маркарян 1118. Наблюдательный материал получен на 6-м телескопе САО АН СССР и 2.6-м телескопе БАО АН Арм.ССР. По относительным интенсивностям эмиссионных линий оценены значения T_e и n_e , содержание элементов He, O, N и S, массы и коэффициенты скважности ионизованного газа, число звезд типа O9 и темп звездообразования в ядре и в четырех сверхассоциациях этой галактики. Показано, что ядро галактики является объектом типа N. Обнаружена двойственность одной из сверхассоциаций, которая выделяется своими физическими параметрами.

1. Введение. Среди галактик с УФ-избытком Марк 1118 (NGC 6484, U 11010, МКГ 04-42-007) является одной из наиболее ярких [1] и довольно хорошо изучена. Ее лучевая скорость определена по радио и оптическим наблюдениям [2—6]. Марк 1118 наблюдалась с широкополосными U, B, V, R фильтрами [7], в линии 21 см H I [2, 3] и в радиодиапазоне [8, 9]. По данным работы [3] Марк 1118 составляет пару с NGC 6482. Морфологический тип галактики по каталогу UGC—Sb (странный) [10], по [3] — Sc, а по [1] — Sbc. На основе прямого снимка 2.6-м телескопа Бюраканской обсерватории Марк 1118 классифицирована как Sbc-галактика [11]. В этой же работе в галактике выделены расположенные симметрично относительно ядра четыре гигантские H II области — сверхассоциации.

В настоящей работе приведены результаты морфологического, а также спектрофотометрического исследования ядерной области галактики и отмеченных областей звездообразования.

2. Наблюдательный материал и его обработка. Крупномасштабный прямой снимок галактики Марк 1118 получен на 2.6-м телескопе БАО АН Арм.ССР 14.06.80 г. на пластинке Zi-21 без фильтра, с экспозицией 20

минут. При наблюдениях изображение звезд $\sim 3''$. Снимок галактики воспроизведен на рис. 1а.

С целью более полного извлечения информации о морфологической структуре Марк 1118, ее прямой снимок просканирован на автоматическом микроденситометре АМД-1 САО АН СССР с диафрагмой 10×10 мкм, с шагом 10 мкм. Полученное двумерное изображение обработано методом быстрого преобразования Фурье. Рассчитаны и использованы оптимальный фильтр низких частот и оптимальный фильтр Винера. Результаты обработки в виде картины изоденс воспроизведены на рис. 1б, с.

Спектры Марк 1118 получены в первичном фокусе 6-м телескопа САО АН СССР со спектрографами СП-160 и UAGS, с двухкамерным ЭОП УМК-91В. В первую ночь изображения были порядка $3''$, а во вторую — $1-2''$. Масштаб перпендикулярно дисперсии $\sim 17''/\text{мм}$. Галактика наблюдалась при двух положениях щели спектрографа, которые указаны на прямом снимке Марк 1118 (рис. 2). Там же отмечены изученные четыре сверхассоциации (СА).

Данные о спектральных наблюдениях отдельно для каждого положения щели спектрографа приведены в табл. 1.

Таблица 1

ДАННЫЕ О СПЕКТРАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ МАРК 1118 НА БТА

Положение щели	Дата наблюдений	Спектрограф	Экспозиция (мин)	Дисперсия (А/мм)	Спектральный диапазон (А)
I	14.07.82	СП-160	20	65	5700—7200
			5	—	5700—7200
			5	—	4600—6100
			5	—	3600—5100
II	23.06.84	UAGS	30	100	4900—7500
			20	—	3700—6300

В качестве звезд сравнения служили 92 Фейджа и BD+25°3941 [12].

Обработка спектров производилась на микроденситометре PDS—1010А БАО АН Арм.ССР.

3. *Результаты.* Марк 1118 разными авторами морфологически классифицирована по-разному [1, 3, 10, 11]. По нашим данным (рис. 1а, б) галактика имеет два спиральных рукава. Оба они выходят «касательно» к центральной области галактики, затем широко раскрываются, причем западный рукав более клочковатый, чем восточный. Центральная область галактики имеет продолговатую форму с ярким ядром в середине. По классификационной схеме де Вокулера галактику можно причислить к типу SAB(s)bc.

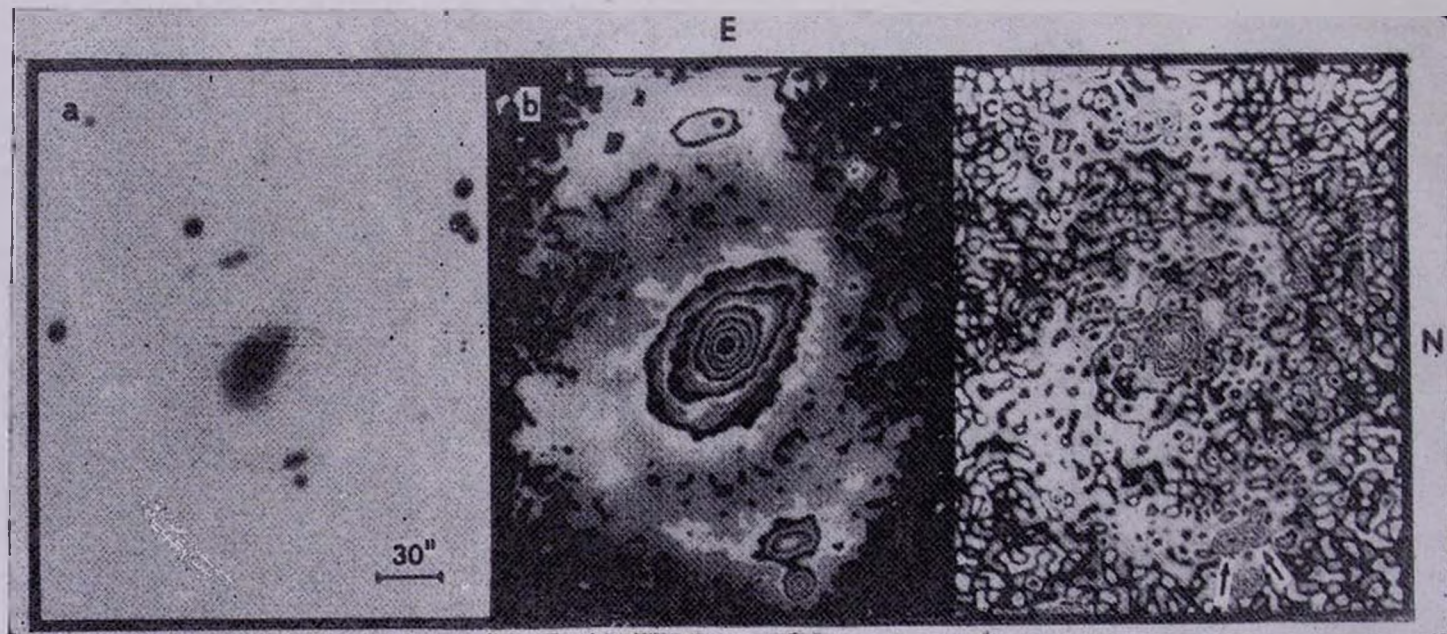


Рис. 1. Галактика Марк 1118: а) Прямой снимок, б) Результат обработки прямого снимка с фильтром низких частот. в) То же с фильтром Винера. Стрелками указаны два компонента СА 1 и слабое сгущение между СА 2 и СА 3.

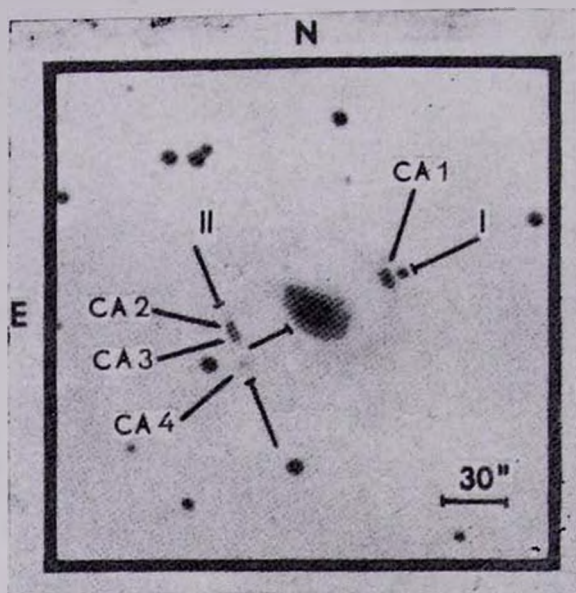


Рис. 2. Сверхассоциации в Марк 1118. Через I и II показано положение щели спектрографа.

К ст. Буренкова А. Н. и др.

Из отождествленных в спиральных рукавах Марк 1118 четырех сверхассоциаций СА1 имеет продолговатую форму. Цифровая обработка изображения галактики с использованием оптимального фильтра Винера позволила выявить двухкомпонентную структуру СА1 (см. рис. 1с) и показать, что в ней восточный компонент ярче западного. Так как обнаруженные оба компонента также имеют продолговатую форму, то не исключено, что каждый из них в свою очередь имеет более сложную структуру. Примечательно также, что между компактными сверхассоциациями СА2 и СА3 в восточном рукаве галактики выявляется слабое сгущение (см. рис. 1с).

При первом положении щели спектрографа (рис. 2) в нее попадали часть СА1 и ядро галактики. Ядро галактики имеет сильный непрерывный спектр, простирающийся далеко в коротковолновую часть, и широкие эмиссионные линии $[S II]$, $[N II]$, H_α , H_β и $[O II]$. Полуширины линий ($FWHM$), исправленные за инструментальный контур, равны $\sim 500 \text{ км с}^{-1}$. На возможное присутствие широкой линии H_α в спектре ядра Марк 1118 ранее указывалось в [4].

Исправленная за движение Солнца вокруг центра Галактики лучевая скорость Марк 1118 оказалась равной $3200 \pm 52 \text{ км с}^{-1}$, что хорошо согласуется с радиоопределениями [2, 3].

Отметим, что эмиссионные линии H_α и $[N II] \lambda 6584$ выходят далеко за пределы непрерывного спектра ядра галактики (приблизительно на $7''$ или 1.5 кпк , здесь и далее $H = 75 \text{ км с}^{-1}$ на Мпк). Причем, в линии H_α отдельным сгущением выделяется начальный участок восточного спирального рукава Марк 1118.

В спектре СА1 на фоне слабого по сравнению с ядром непрерывного спектра отождествлены эмиссионные линии $[S II]$, $[N II]$, H_α , $He I \lambda 5876$, $[O III]$, H_β , H_γ и $[O II]$.

При втором положении щели (рис. 2) в нее попадали СА2, СА3 и СА4. СА2 и СА3 имеют почти одинаковый непрерывный спектр с одними и теми же, но различаемыми по интенсивности эмиссионными линиями $[S II]$, $[N II]$, H_α , $He I \lambda 5876$, $[O III]$, H_β , H_γ , H_α и $[O II]$.

Непрерывный спектр СА4 едва заметен, но четко наблюдаются эмиссионные линии H_α , $[O III]$, H_β и $[O II]$. Заметен след линии $[N II] \lambda 6584$.

Все отождествленные эмиссионные линии во всех спектрах Марк 1118 фотометрированы. Погрешности в определении интенсивностей этих линий составляют, в среднем, 25% для $I(\lambda) \geq I(H_\beta)$ и 40% для $I(\lambda) < I(H_\beta)$.

Наблюдаемые и исправленные за поглощение согласно [13] значения относительных интенсивностей эмиссионных линий всех СА и ядра Марк 1118 приведены в табл. 2. В последней строке таблицы даны значения

эквивалентных ширин эмиссионной линии $H\beta$, ошибки измерения которых не превышают 30%.

Таблица 2

ЗНАЧЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ И ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ШИРИН ЛИНИЙ $H\beta$ В ЯДРЕ И В СА МАРК 1118

	Ядро		СА1		СА2		СА3		СА4	
	$\left(\frac{I_\lambda}{I_{H\beta}}\right)_{\text{набл.}}$	$\left(\frac{I_\lambda}{I_{H\beta}}\right)_{\text{испр.}}$	$\left(\frac{I_\lambda}{I_{H\beta}}\right)_{\text{набл.}}$	$\left(\frac{I_\lambda}{I_{H\beta}}\right)_{\text{испр.}}$	$\left(\frac{I_\lambda}{I_{H\beta}}\right)_{\text{набл.}}$	$\left(\frac{I_\lambda}{I_{H\beta}}\right)_{\text{испр.}}$	$\left(\frac{I_\lambda}{I_{H\beta}}\right)_{\text{набл.}}$	$\left(\frac{I_\lambda}{I_{H\beta}}\right)_{\text{испр.}}$	$\left(\frac{I_\lambda}{I_{H\beta}}\right)_{\text{набл.}}$	$\left(\frac{I_\lambda}{I_{H\beta}}\right)_{\text{испр.}}$
[S II] λ 6731	1.45	0.71	0.34	0.16	0.80	0.37	1.12	0.57	—	—
[S II] λ 6717	2.11	1.04	0.42	0.20	0.89	0.42	1.57	0.80	—	—
[N II] λ 6584	4.77	2.43	0.95	0.48	1.71	0.84	2.23	1.05	—	—
$H\alpha$	5.50	2.82	5.50	2.82	5.67	2.92	5.28	2.82	6.20	2.82
[N II] λ 6548	1.87	0.96	0.35	0.18	0.61	0.30	0.75	0.34	—	—
$H\delta$ I λ 5876	—	—	0.26	0.17	0.29	0.18	0.29	0.19	—	—
[O III] λ 5007	—	—	2.18	2.02	1.17	1.08	1.40	1.30	1.63	1.53
[O III] λ 4959	—	—	0.70	0.66	0.38	0.36	0.42	0.39	0.56	0.53
$H\beta$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$H\gamma$	—	—	0.26	0.35	0.30	0.42	0.24	0.32	—	—
$H\delta$	—	—	—	—	0.08	0.13	0.11	0.17	—	—
[O II] λ 3727	0.5:	1.1:	1.36	2.98	1.44	3.26	1.26	2.65	1.59	3.99
$\mathcal{W}_{H\beta}$ (A)	20		480		53		19		67	

Электронные температуры всех СА, определенные тремя способами с помощью эмпирических зависимостей между T_e и отношениями $I([O III])/I([N II])$, $I([O III])/I([O II]) + I([O II])/I(H\beta)$ [14—16], и их средние значения приведены в табл. 3. Там же по [17] приведены значения электронных плотностей.

Таблица 3

ЗНАЧЕНИЯ T_e И n_e В СА МАРК 1118

	СА1	СА2	СА3	СА4
T_e по [14]	7900	7200	7200	—
T_e по [15]	8100	7800	7800	8400
T_e по [16]	8500	7900	7630	8780
$\bar{T}_e$	8200	7600	7500	8600
n_e	220	340	50	100*

* Принятое при расчетах значение n_e .

Значения относительных интенсивностей $I([\text{O III}] \lambda 5007)/I(\text{H}_\beta)$ и $I([\text{N II}] \lambda 6584)/I(\text{H}_\alpha)$ в спектрах всех четырех СА характерны для Н II областей, в которых излучение в линиях обусловлено фотоионизацией коротковолновым излучением горячих О—В звезд [18]. Для всех четырех образований температура ионизирующих звезд (T_*) должна быть в пределах $3.2\text{--}3.5 \cdot 10^4 \text{ K}$ [19], т. е. ионизация газа в них обусловлена преимущественно звездами опектральных типов В0—О9 [20].

По вышеприведенным данным и согласно [21—24] рассчитано также содержание гелия, кислорода, азота и серы в СА Марк 1118. Полученные значения логарифмов содержания этих элементов, а также отношения N/O приведены в табл. 4. Количество атомов водорода принято равным 10^{12} . Отметим, что полученные нами оценки содержания серы являются нижним пределом (см., например, [25]). Приведенное в табл. 4 значение содержания азота в ядре галактики вычислено с использованием его значения $\lg[\text{N II}] \lambda 6584/\text{H}_\alpha$ и эмпирической зависимости для ядер спиральных галактик [26].

Таблица 4

СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЯДРЕ И В СА МАРК 1118

	$12 + \lg \text{He/H}$	$12 + \lg \text{O/H}$	$12 + \lg \text{N/H}$	$12 + \lg \text{S/H}$	$\lg \text{N/O}$
Ядро	—	—	8.23	—	—
СА1	11.05	8.61	7.64	>6.95	-0.97
СА2	11.07	8.75	7.56	>6.97	-1.19
СА3	11.09	8.70	7.72	>7.27	-0.98
СА4	—	8.57	—	—	—
Ядра спиральных галактик	—	9.03	8.16	—	-0.87
Н II-области	11.07	8.60	7.59	>7.26	-1.01
Солнце	10.93	8.92	7.99	7.23	-0.93

В табл. 4 для сравнения приведены содержания тех же элементов для ядер нормальных спиральных галактик [14], для галактических Н II областей [27] и для Солнца [28, 29].

В работе [11] оценены видимые фотографические звездные величины ядра и четырех СА Марк 1118, на основе чего по [30] оценены их звездные величины в цвете В, которые приведены в табл. 5. Используя эти оценки, а также приведенные в табл. 2 значения эквивалентных ширин линий H_β , рассчитаны наблюдаемые абсолютные потоки (F_{H_β}) и ошибки их определения. Зная F_{H_β} можно вычислить абсолютные светимости (L_{H_β}) в линии H_β с учетом поглощения; эффективные объемы $V_{\text{эфф}}$.

Таблица 5

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯДРА И СА МАРК 1118

	Ядро	СА1	СА2	СА3	СА4
B	16^m_3	18^m_3	19^m_3	19^m_3	19^m_8
F_{H_2} (эрг $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$)	$(2.2 \pm 0.9) \cdot 10^{-14}$	$(8.4 \pm 3.4) \cdot 10^{-14}$	$(3.7 \pm 1.5) \cdot 10^{-15}$	$(1.3 \pm 0.6) \cdot 10^{-15}$	$(2.5 \pm 1.2) \cdot 10^{-15}$
L_{H_2} (эрг с^{-1})	$4.4 \cdot 10^{40}$	$1.7 \cdot 10^{41}$	$8.1 \cdot 10^{39}$	$2.2 \cdot 10^{39}$	$8.6 \cdot 10^{39}$
I_{H_2} (эрг $\text{см}^{-3} \text{с}^{-1}$)	—	$7.0 \cdot 10^{-21}$	$1.8 \cdot 10^{-20}$	$4.0 \cdot 10^{-22}$	$1.3 \cdot 10^{-21}$
$V_{\text{эф}}$ (см^3)	—	$2.4 \cdot 10^{41}$	$4.5 \cdot 10^{39}$	$5.5 \cdot 10^{40}$	$6.6 \cdot 10^{40}$
$\mathcal{M}_{\text{HII}} (\mathcal{M}_{\odot})$	—	$4.4 \cdot 10^6$	$1.3 \cdot 10^5$	$2.3 \cdot 10^5$	$5.5 \cdot 10^5$
α	—	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-4}$	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$3.6 \cdot 10^{-5}$
$N_{\text{LyC}} (\text{с}^{-1})$	$8.8 \cdot 10^{32}$	$3.4 \cdot 10^{33}$	$1.6 \cdot 10^{32}$	$4.4 \cdot 10^{31}$	$1.7 \cdot 10^{32}$
N_* (O9)	$4.1 \cdot 10^4$	$1.6 \cdot 10^5$	$7.6 \cdot 10^3$	$2.1 \cdot 10^3$	$8.0 \cdot 10^3$
$\mathcal{M}_{\text{ТЭО}} (\mathcal{M}_{\odot} \text{ год}^{-1})$	0.9	3.37	0.2	0.04	0.2

массы излучающего газа (M_{HII}), а также факторы скважности (α); количество лаймановских квантов ($N_{\text{Ly}\alpha}$) по [31] и по [20]; количество звезд типа O9, способных излучать такое количество лаймановских квантов (N_*). Значения этих физических характеристик, вычисленные для ядра и четырех СА галактики, приведены в табл. 5.

В таблице приведены также оценки темпа звездообразования (все звезды с массами от 0.1 до 100 $M_{\odot}$) в исследуемых образованиях согласно [32].

4. *Обсуждение.* По ширине эмиссионных линий 500 км с^{-1} и по значению $I(\text{H}\alpha)/I([\text{N II}] \lambda 6584) = 1.16$ ядро Марк 1118 можно отнести к LINER или Sy2 [33]. Однако отсутствие в его спектре заметных линий [O I] и [O III] затрудняет его точную классификацию как LINER или Sy2. В этом случае, как указано в [33], это ядро можно классифицировать как объект типа N. Содержание азота в нем выше, чем для ядер спиральных галактик с классификацией ядра как H II-область [14]. Темп звездообразования в ядре, оцененный по $L_{\text{H}\alpha}$, довольно высок. Это отчасти может быть отражением того, что часть ионизирующего излучения в нем может иметь нетепловую природу (см., например, [34]).

Известно, что в спиральных галактиках протяженные вдоль рукавов гигантские H II-области часто оказываются состоящими из небольших, но сравнимых со сверхассоциациями, комплексов (см., например, [35]). Темп звездообразования в таких системах довольно высок.

Как выяснилось, СА1 состоит, как минимум, из двух образований, сравнимых с более компактными СА2 и СА3. По своим физическим характеристикам (темп звездообразования, масса ионизованного газа и т. д.) она в десятки раз превосходит СА2, СА3 и СА4 и даже заметно ядро галактики. По темпу звездообразования СА1 превосходит некоторые галактики поздних морфологических типов в целом [36].

Специальная астрофизическая
обсерватория АН СССР
Бюраканская астрофизическая
обсерватория

DETAILED MORPHOLOGICAL AND SPECTROPHOTOMETRICAL INVESTIGATION OF THE GALAXY MARKARIAN 1118

A. N. BURENKOV, A. R. PETROSIAN, A. B. SARKISIAN, E. YE. KHACHIKIAN

The results of detailed morphological and spectrophotometrical investigation of the galaxy Markarian 1118 are presented. Observational data has been carried out with 6-m telescope of the Special Astrophysical Observatory.

sical Observatory and 2.6 m telescope of Byurakan Observatory. By means of intensity ratio of emission lines T_e , n_e , the abundances of He, O, N, S, the masses and filling factors of the emitting gas, the numbers of the O9 type stars and star formation rates for nuclear region and for four giant HII regions (superassociations) are estimated. The nucleus of Markarian 1118 is classified as N type object. The double structure of one of the giant HII regions, which is distinguished by its physical parameters, is discovered.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, Дж. А. Степанян, *Астрофизика*, 15, 201, 1979.
2. N. Thonnard, V. C. Rubin, W. K. Ford Jr., M. S. Roberts, *Astron. J.*, 83, 1564, 1978.
3. S. D. Peterson, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 40, 527, 1979.
4. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, Дж. А. Степанян, *Астрофизика*, 16, 5, 1980.
5. L. Bottinelli, L. Gouguenheim, G. Paturel, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 47, 171, 1982.
6. G. C. G. Palumbo, G. Tonzella-Nitti, G. Vettolani, *Catalogue of Radial Velocities of Galaxies*, Gordon and Breach, New York, 1983.
7. Э. А. Дубай, В. Т. Дорошенко, К. А. Постнов, *Письма в Астрон. ж.*, 7, 527, 1981.
8. L. L. Dressel, J. J. Condon, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 36, 53, 1978.
9. В. А. Самаян, Р. А. Кандалян, Г. А. Оганян, *Астрофизика*, 19, 429, 1983.
10. P. Nilson, *Uppsala General Catalogue of Galaxies*, *Uppsala Astron. Observ. Ann.*, 6, 1973.
11. А. Р. Петросян, К. А. Саакян, Э. Е. Хачикян, *Астрофизика*, 20, 51, 1984.
12. R. P. S. Stone, *Astrophys. J.*, 218, 767, 1977.
13. J. S. Mathis, *Astrophys. J.*, 159, 263, 1970.
14. D. Alloin, S. Collin-Souffrin, M. Joly, L. Vigroux, *Astron. and Astrophys.*, 78, 200, 1979.
15. B. E. J. Pagel, M. G. Edmunds, D. E. Blackwell, M. S. Chu, G. Smith, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 189, 95, 1979.
16. P. A. Shaver, R. X. McGee, L. M. Newton, A. C. Danks, S. R. Pottasch, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 204, 53, 1983.
17. Н. В. Носов, *Астрон. циркуляр*, № 1050, 1979.
18. J. A. Baldwin, M. M. Phillips, R. Terlevitch, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 93, 5, 1981.
19. J. B. Kaler, *Astrophys. J.*, 210, 843, 1976.
20. P. G. Mezger, L. F. Smith, E. Churchwell, *Astron. and Astrophys.*, 32, 269, 1974.
21. M. Peimbert, R. Costero, *Bol. Observ. Tonantzintla*, 5, 3, 1969.
22. M. Peimbert, S. Torres-Peimbert, *Astrophys. J.*, 168, 413, 1971.
23. P. Benvenuti, S. D'Odorico, M. Peimbert, *Astron. and Astrophys.*, 28, 447, 1973.
24. M. J. Seaton, *Adv. Atom. Molec. Phys.*, 4, 331, 1968.
25. J. B. Kaler, *Astrophys. J.*, 244, 54, 1981.
26. А. Р. Петросян, *Сообщ. Бюракан. обсерв.*, 61, 1988.
27. S. A. Hawley, *Astrophys. J.*, 224, 417, 1978.
28. D. L. Lambert, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 182, 249, 1978.

29. D. L. Lambert, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 183, 79, 1978.
30. J. Huchra, Astron. J., 81, 952, 1976.
31. S. R. Pottash, Vistas Astron., 6, 149, 1965.
32. D. A. Hunter, J. S. Gallagher III, Publ. Astron. Soc. Pacif., 98, 5, 1986.
33. M.-P. Veron-Cetty, P. Veron, Astron. and Astrophys. Suppl. Ser., 66, 335, 1986.
34. A. V. Filippenko, Astrophys. J., 289, 475, 1985.
35. R. C. Kennicutt, Jr., Astrophys. J., 287, 116, 1984.
36. R. C. Kennicutt, Jr., Astrophys. J., 272, 54, 1983.