

УДК: 524.35—355

СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕКУЛЯРНОЙ ГАЛАКТИКИ NGC 6240

Н. К. АНДРЕАСЯН, Э. Е. ХАЧИКЯН

Поступила 19 июля 1986

Принята к печати 20 июня 1987

Представлены результаты подробного спектрального исследования NGC 6240. Выполнена спектрофотометрия двух отстоящих друг от друга на $2''$ компонентов ядра, обнаруженных ранее в радио- и ИК-диапазонах и рассматриваемых как ядра двух столкнувшихся галактик. Определены физические условия в них и химический состав. Оказалось, что сейфертовские характеристики, приписываемые всему ядру, присущи только одному компоненту, в то время как второй имеет спектральные признаки H II-областей и, по-видимому, является комплексом H II-областей. Выявлено вращение сейфертовского компонента ядра, в котором не принимает участия H II-комплекс.

1. *Введение.* На Паломарских картах NGC 6240 имеет весьма необычную форму и классифицирована в RCBG как 10 галактика [1], а в Уппсальском каталоге описана как очень пекулярная, возможно, эруптивная галактика [2]. Воронцов-Вельяминов отнес эту галактику к возможным гнездам галактик [3]. NGC 6240 отождествлена с довольно мощным радиисточником Pks 1650+24=4C 2.44 [4], имеющим спектральный индекс -0.8 на низких и -1.3 на высоких частотах [5].

Спектральные и фотометрические наблюдения, выполненные Архиповой и Есиповым [6], Засовым и Караченцевым [7], показывают, что спектр NGC 6240 имеет признаки, характерные для спектров сейфертовских галактик второго типа, а светимость ее ядра гораздо выше в R -диапазоне, чем в B . Выявлено наличие большого количества пыли в этой галактике и сделано предположение о том, что ее красный цвет и низкая светимость ядра обусловлены поглощением пылью.

Исходя из радиохарактеристик, морфологических особенностей и анализа оптического спектра NGC 6240 Фосбюри и Уолл [5] сделали предположение о том, что она является результатом столкновения двух богатых газом галактик.

На радиокартах NGC 6240, приведенных в работе Кондона и др. [8], отчетливо выделяются два радиисточника, расположенные в централь-

ной части галактики на расстоянии примерно $2''$ друг от друга. Двухъядерная структура NGC 6240 проявляется также в I и G полосах, на крупномасштабных фотографиях, полученных Фридом и Шульцем с помощью CCD-камеры. Этот факт, а также полученные ими спектральные характеристики NGC 6240, указывающие на излучение протяженной области ионизованного ударной волной газа, были интерпретированы как результат излучения двух столкнувшихся, взаимопроникающих галактик [9].

Недавно Янг и др. [10] обнаружили излучение молекул CO в NGC 6240 и показали, что эта галактика является (наряду с другой пекулярной галактикой, Арп 220) одним из самых ярких объектов в далеком ИК-диапазоне среди выборки из 20 галактик, зарегистрированных на IRAS, и содержит примерно в три раза больше пыли, чем яркие спиральные галактики этой выборки. Полученные наблюдательные факты авторы интерпретируют как свидетельства в пользу активного звездообразования в NGC 6240. К такому же выводу пришли также Райк и др. [11] на основании результатов инфракрасной и оптической спектроскопии и инфракрасной фотометрии. Согласно Райку и др., процесс звездообразования NGC 6240 по параметрам очень похож на звездообразование галактики M 82 — прототипе Igg II-галактик.

Джозеф и Райк [12] отмечают, что NGC 6240 является одной из ультраярких ИК-галактик и считают, что оптические, инфракрасные и радиоданные не указывают на присутствие в этой галактике центрального нетеплового источника, как у сейфертовских галактик, также ярких в диапазоне ИК. Авторы работы [12] предполагают, что в NGC 6240 происходит вспышка звездообразования, после чего она превратится в эллиптическую галактику, подобно мерджерам [13].

Из всего изложенного выше ясно, что NGC 6240 является интересной пекулярной галактикой, как в морфологическом, так и физическом аспектах, и новые наблюдательные данные весьма важны для понимания полной физической картины происходящих в этой галактике процессов. Особенно интересна двухъядерная структура этой галактики, и нами была поставлена задача получить оптические спектры этих ядер на БТА. В настоящей работе приведены результаты денситометрического и детального спектрофотометрического анализа NGC 6240.

2. Наблюдения и результаты. Получена одна фотография NGC 6240 09.06.1985 г. с экспозицией 20 минут в первичном фокусе 2.6-метрового телескопа БАО на пластинках Zi-21 и 13 спектрограмм в первичном фокусе 6-м телескопа с помощью спектрографа UAGS и ЭОП типа УМК-91в.

Спектральные наблюдения выполнены 24—26 июня 1984 г. и 16—17 июня 1985 г. Спектрограммы в общей сложности охватывают область 3600—7000 Å, средняя дисперсия 100 Å/мм, результирующий масштаб по-

перек дисперсии примерно $17''/\text{мм}$, спектральное разрешение примерно 3 Å. Пять положений щели спектрографа, при которых снимались спектры, показаны на рис. 1, где приведена репродукция полученной на 2.6-м телескопе прямой фотографии. Для учета спектральной чувствительности аппаратуры наблюдались стандартные звезды Feige 92 и BD + 25°3941 [14]. Журнал спектральных наблюдений NGC 6240 приведен в табл. 1.

Таблица 1

Дата	Спектральная область	Положение щели	Экспозиция (мин)	Изображение
24/25.06.1984	3600—6100	1	15	1.5
"	"	"	5	"
"	4500—7000	"	15	"
"	"	2	5	"
"	"	"	15	"
"	3600—6100	"	10	"
25/26.06.1984	"	4	25	2"
"	4500—7000	4	25	"
"	"	3	10	"
"	3600—6100	"	10	3"
16/17.06.1985	4500—7000	5	30	"
"	"	3	20	"
"	"	4	20	"

В центральной части NGC 6240, как видно на рис. 1, наблюдается слабое, без определенной формы сгущение, примерно на том месте, где Фрид и Шульц обнаружили двойное ядро. Светимость этого сгущения по сравнению со всей галактикой мала и если в I и r диапазонах она составляет всего 6% от общей светимости галактики [9], то в фотографических лучах она еще меньше. Двойная структура ядра, так отчетливо наблюдаемая в IR -лучах, не проявляется на полученной нами фотографии.

На рис. 2 приведены репродукции спектрограмм, полученных при разных положениях щели спектрографа. На спектрограммах, полученных при положениях щели 1 и 2, зарегистрированы два совершенно разных по характеру спектра соприкасающихся друг с другом областей, расположенных в центральной части галактики, и звездообразного объекта, находящегося в северной части галактики на расстоянии примерно $20''$ от центра. Спектр одной из центральных областей, обозначенной нами А, имеет сильный непрерывный спектр, на котором хорошо выделяются абсорбционные и широкие эмиссионные линии. В спектре же второй области (В), расположенной примерно на $2''$ южнее первой, континуум крайне слаб и фактически

наблюдаются только интенсивные эмиссионные линии. Спектр центральной области с сильным континуумом наблюдается также на спектрограммах, полученных при положении щели 3.

При положении щели 4 получен слабый непрерывный спектр с неоднородной плотностью по высоте щели, на котором видны только эмиссионные линии H_{α} , [O III] λ 5007 и [O II] λ 3727. Линии по высоте щели имеют клочковатую прерывистую структуру, то есть принадлежат спектрам отдельных облаков ионизованного газа. Отчетливо различаются два сгущения по линиям [O III] λ 5007 и H_{α} , отстоящие друг от друга примерно на $7''$ и примерно равной интенсивности, и одно более слабое сгущение, расположенное севернее первых двух. Сгущения в эмиссионных линиях не повторяют неоднородную структуру непрерывного спектра. Спектр, полученный при положении 5, также имеет слабый континуум, на котором обнаруживается только линия H_{α} , состоящая из нескольких слабых сгущений по высоте щели.

Количественный спектральный анализ можно осуществить только для спектров двух центральных областей, так как спектры остальных областей галактики слишком слабы. Методика обработки спектров описана в работах [15, 33] и не считаем целесообразным здесь ее повторять.

Как уже отмечалось, эмиссионные линии в спектре с сильным континуумом широкие и, кроме того, сильно наклонены. Исправленные за инструментальное уширение полуширины линий равны примерно 750 км/с . Линейный размер центральной области с сильным континуумом равен примерно 1.7 кпк. Наклон линий в спектре этой области указывает на ее сравнительно быстрое вращательное движение с линейной скоростью, достигающей значения около 370 км/с на краю области. Фактически мы тут имеем дело с компактным быстровращающимся ядром с сейфертовскими характеристиками. Масса ядра, судя по вращению, порядка массы нормальной галактики — $4.8 \cdot 10^{10} M_{\odot}$.

Спектр области, расположенный южнее описанного выше ядра, как отмечалось, имеет крайне слабый континуум, а полуширины эмиссионных линий порядка инструментальных. Наклон у этих линий не обнаруживается, то есть, находясь столь близко (примерно 1.5 кпк в проекции на небесную сферу) к ядру, эта область не участвует во вращательном движении ядра. Диаметр околядерной эмиссионной области несколько больше, чем диаметр ядра и составляет примерно 2 кпк. Судя по спектру, эта область представляет собой гигантскую H II-область, которая в I и γ диапазонах имеет большую светимость, чем само ядро и была отмечена Фридом и Шульцем как один из компонентов двойного ядра. Возможно, что H II-область в действительности находится далеко от ядра и расположена близко к ядру лишь в проекции на небесную сферу.

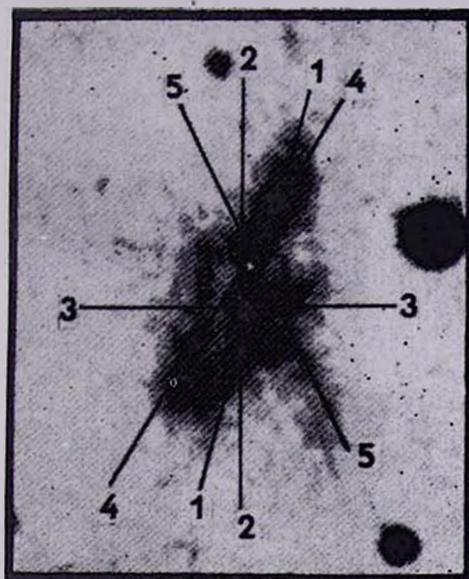


Рис. 1. Прямой снимок NGC 6240, показаны положения щели спектрографа при спектральных наблюдениях.

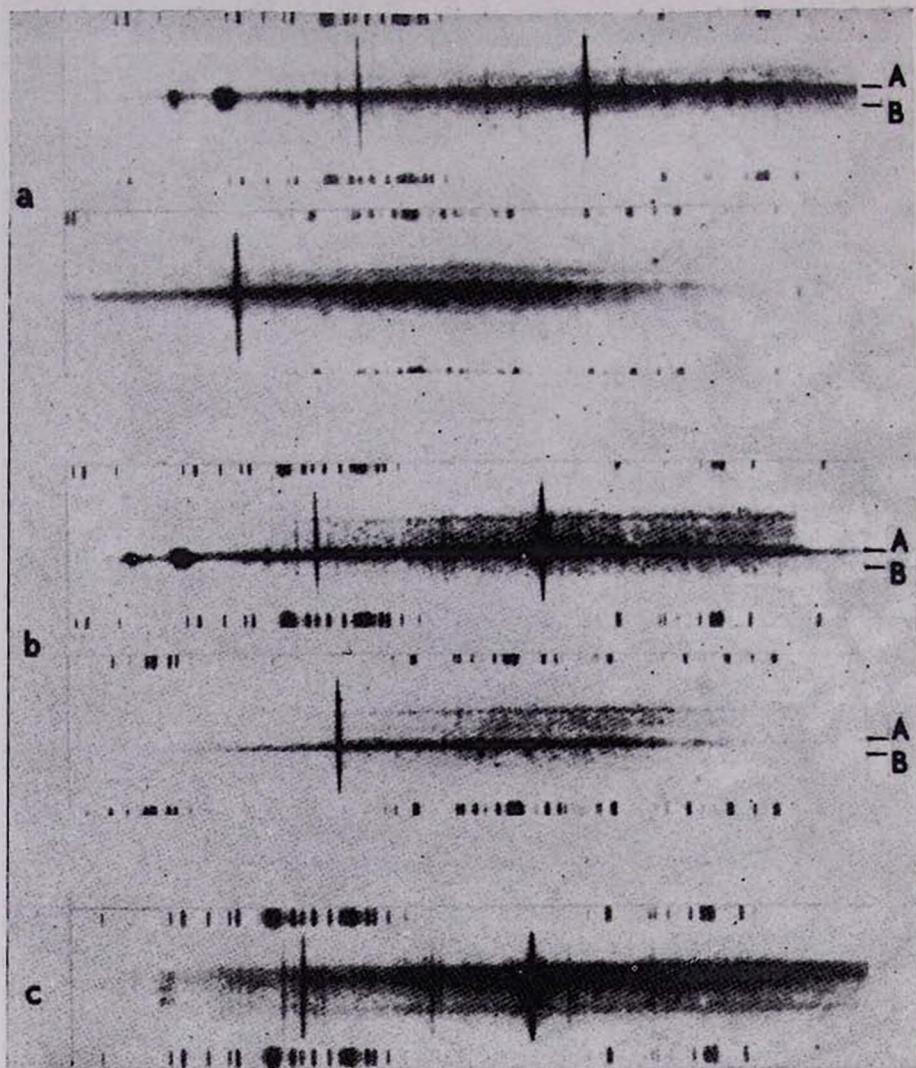


Рис. 2. Репродукция спектрограмм, полученных при разных положениях щели спектрографа: а) положение щели 1, области спектра 3600—6100 А и 4500—7000 А; б) положение щели 2, те же области; с) положение щели 4, области спектра 4500—7000 А.

К статье Н. К. Андреасяи, Э. Е. Хачикяи

Выполнена спектрофотометрия ядра и околоядерной H II-области, результаты которой приведены в табл. 2 и 3. В табл. 2 приведены наблюдаемые и исправленные за покраснение значения относительных интенсивностей эмиссионных линий, а в табл. 3 — эквивалентные ширины наиболее уверенно отождествленных абсорбционных линий в спектре ядра. Поправка за покраснение вычислена в предположении о том, что бальме-

Таблица 2

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ СПЕКТРАЛЬНЫХ
ЛИНИЙ ДВУХ ОБЛАСТЕЙ В ГАЛАКТИКЕ NGC 6240

λ_0	Ион	А		В	
		$(I_\lambda/I_{H\beta})_H$	$(I_\lambda/I_{H\beta})_0$	$(I_\lambda/I_{H\beta})_H$	$(I_\lambda/I_{H\beta})_0$
6731	[SII]	6.66	.78	7.94	1.61
6717	[SII]	6.97	.81	10.29	2.08
6584	[NII]	26.14	3.25	16.18	3.28
6563	H α	22.99	2.86	13.53	2.87
6527	HeII	--	—	1.25	.28
6406	HeII	—	—	.58	.13
6364	[OI]	1.29	.20	1.26	.31
6312	[SIII]			.45	.11
6300	[OI]	5.16	.87	1.72	0.81
5197	[NI]	.52	.36	—	—
5007	[OIII]	2.13	1.72	1.72	1.47
4959	[OIII]	.61	.52	.58	.52
4893	F δ VII	.22	.21	—	—
4861	H β	1.00	1.00	1.00	1.00
4686	HeII	.14	.18	—	—
4340	H γ	.21	.48	.27	.50
3727	[OII]	1.34	8.41	1.10	4.32
С (H β)		2.66		1.98	

ровские линии в обоих спектрах имеют рекомбинационное происхождение (случай В, $T_e = 10^4 K$ [16]), а поглощение происходит по нормальному закону. Логарифмические коэффициенты покраснения в линии H β для обеих областей приведены в последней строке табл. 2. Ошибка измерений интенсивностей для слабых спектральных линий достигает 25—30%, а для линий с нормальной выдержкой не превышает 20%.

3. Физические условия и химический состав. Полученные нами спектрофотометрические данные позволяют определить физические условия, а

а также судить о химическом составе центральной области NGC 6240. В табл. 4 приведены некоторые физические параметры ядра и околоядерной эмиссионной области этой галактики: классификационные параметры $\langle E \rangle$ и (3727/5007) Болдуина и др. [17], электронная температура, определенная эмпирическим методом по отношению интенсивностей линий $[O III] + [O II]/H\beta$ [18], электронная плотность, определенная по отношению интенсивностей линий $[S II] 6717$ и 6731 и индекс возбуждения $r = [O III] 5007 + 4959 / [O II] 3727$.

Таблица 3

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ
В СПЕКТРЕ ЯДРА NGC 6240

λ	5893	5645	5616	5167	5133	4489	4427	4405	4384
Ион	NaI	TiI	FeI	FeI	FeI	TiI	FeI	FeI	FeI
W(A)	5.51	1.78	1.85	3.07	1.67	0.91	1.26	1.75	1.20

Эмиссионные линии в спектре ядра NGC 6240 широкие, характерные для спектров Sy 2 галактик, а индекс возбуждения низкий, как у лайнеров.

Таблица 4

Область	$\langle E \rangle$	3727/5007	$T_e \cdot 10^{-4} K$	$N_e \text{ см}^{-3}$	r
A (ядро)	0.86	0.68	1.0	630	0.27
B	0.20	0.47	0.9	170	0.46

На классификационной схеме Болдуина и др. [17] ядерная область NGC 6240 по своим характеристикам попадает в область лайнеров, обозначенную авторами как область ионизации ударной волной, так как предполагается, что ионизация у лайнеров и Sy 2 галактик происходит под действием ударной волны (например, [19]). Исследования последних лет показали, что спектральные характеристики лайнеров (и Sy 2 галактик) могут быть объяснены в рамках фотоионизационных моделей [19—24]. Основная разница между H II-областями и ядрами указанного выше класса объектов в смысле ионизации заключается в отличии источников ионизирующего излучения и геометрического фактора (см., например, [24, 25]).

Таким образом, так как спектральные характеристики ядра NGC 6240 схожи с характеристиками Sy 2 галактик (и лайнеров), то можно считать, что в ядре NGC 6240, как и в упомянутых объектах, основную роль играет фотоионизационный механизм. Источником ионизирующего излучения в данном случае могут быть вновь образовавшиеся массивные звезды, дости-

гающие в процессе эволюции сверхвысоких температур. Такие объекты названы вормерами (warmer) [26].

Что же касается околоядерной эмиссионной области NGC 6240, то на той же классификационной схеме [17] она попадает в область нормальных Н II-областей с низкой степенью ионизации, и можно считать, что в этой области, как и в нормальных Н II-областях, фотоионизация обусловлена излучением молодых, горячих звезд класса O—B. Вообще всеми своими параметрами околоядерная эмиссионная область напоминает, как уже отмечалось, гигантскую Н II-область.

Считая, что фотоионизационный механизм является основным в рассматриваемых двух областях NGC 6240, можно определить их химический состав методами, приведенными в [27]. В табл. 5 приведены результаты определения относительного содержания ионов, линии которых наблюдаются в спектрах ядра и околоядерной Н II-области NGC 6240, а также относительное содержание элементов, нормированные к количеству водорода при $\lg N = 12$. С целью сравнения приведены также значения соответствующих параметров для нормальных Н II-областей [28] и Солнца [29].

Таблица 5

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ В ЯДРЕ И ОБЛАСТИ В
NGC 6240

Ион, элемент	Ядро	Область B	Н II-области	Солнце
Ne ⁺⁺	$1.51 \cdot 10^{-2}$	—		
O ⁺	$4.29 \cdot 10^{-4}$	$3.28 \cdot 10^{-4}$		
O ⁺⁺	$5.61 \cdot 10^{-6}$	$5.83 \cdot 10^{-5}$		
N ⁺	$5.37 \cdot 10^{-5}$	$1.05 \cdot 10^{-4}$		
S ⁺	$3.20 \cdot 10^{-6}$	$1.52 \cdot 10^{-5}$		
He	—	—	11.07	10.83
O	8.46	8.48	8.60	8.84
N	7.80	7.97	7.59	7.94
S	7.09	7.60	7.26	7.27
N/O	0.21	0.30	0.10	0.12
Z	$7.6 \cdot 10^{-3}$	$7.9 \cdot 10^{-3}$	$1.05 \cdot 10^{-2}$	$1.81 \cdot 10^{-2}$

Как в ядре NGC 6240, так и в околоядерной Н II-области, как это видно из табл. 5, имеется значительный дефицит тяжелых элементов, характерный для молодых объектов, где все еще продолжается процесс звездообразования.

4. *Обсуждение результатов.* Благодаря большому масштабу 6-м телескопа, нам удалось получить спектры двух областей в центральной части NGC 6240, отстоящих друг от друга примерно на $2''$. Наличие двойного ядра в NGC 6240 было известно из радионаблюдений [8] и крупномасштабных фотографий, снятых в I и r диапазонах [9], причем они рассматривались как ядра двух столкнувшихся галактик [5, 9, 12]. Полученные же нами результаты показывают, что один из компонентов ядра, по-видимому, является гигантской H II-областью, причем она, по всей вероятности, находится далеко от ядра галактики и всего лишь проектируется на ядерную область. Последнее предположение аргументировано тем, что, будучи расположенными столь близко друг к другу, они динамически совершенно независимы — наклон спектральных линий указывает на довольно быстрое вращение ядра, которое не обнаруживается у H II-области.

Полученные нами спектрофотометрические данные обеих областей можно объяснить в рамках фотоионизационных моделей, хотя при обсуждении спектральных характеристик NGC 6240 отмечалось, что спектр этой галактики показывает признаки, характерные для излучения ионизованного ударной волной газа (например, [5, 9]).

Внутреннее поглощение в NGC 6240, как было отмечено другими авторами, довольно высокое. Судя по логарифмическому коэффициенту покраснения в ядре, оно достигает значения $5.^m26$, а в H II-области — $3.^m81$ (приведенные значения A_V исправлены за галактическое поглощение).

Заслуживает внимания тот факт, что окооядерная H II-область в ИК имеет большую светимость по сравнению с ядром, в то время, как в голубой части спектра она гораздо слабее ядра. Большое значение отношения инфракрасной светимости к голубой, вместе с некоторыми другими параметрами, характерно для областей интенсивного звездообразования [30]. Штайн и Сойфер [31] отметили, что инфракрасная светимость может послужить мерой доли звездообразования, причем пыль в данном случае играет роль преобразователя частот.

В обеих рассмотренных нами областях обнаруживается ощутимый дефицит тяжелых элементов, что характеризует их как области продолжающегося звездообразования.

Таким образом, полученные нами результаты можно объяснить мощной вспышкой звездообразования в этой галактике, огромным очагом которой является H II-область, рассматривавшаяся прежде как компонент двойного ядра. Что же касается самого ядра, то оно имеет признаки ядер Sy 2, возможно также является областью бурного звездообразования.

Отметим также, что на спектрограммах, полученных при разных положениях щели спектрографа, кроме ядра и окооядерного огромного H II-комплекса обнаруживаются еще несколько облаков ионизованного газа, излучающего в линиях.

Все полученные результаты показывают, что к NGC 6240 совершенно не подходят критерии класса Iг II (или IO), как класса объектов со вторым типом звездного населения. Во многих объектах, отнесенных к классу IO, также были обнаружены доказательства присутствия в них первого типа звездного населения и очагов звездообразования (см., например, [15, 32, 33]), но NGC 6240 следует отметить среди них как пекулярную галактику с необыкновенно мощной вспышкой звездообразования.

Авторы статьи благодарны Г. В. Абрамяну за полученный по нашей просьбе прямой снимок галактики и А. Н. Буренкову за помощь при спектральных наблюдениях.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

SPECTRAL INVESTIGATION OF PECULAR GALAXY NGC 6240

N. K. ANDREASSIAN, E. YE. KHACHIKIAN

The results of detailed spectral investigation of NGC 6240 are presented. Spectrophotometry of two components of the nucleus founded earlier in the radio and IR regions which are at 2" from each other and were considered to be nuclei of two colliding galaxies is carried out. Physical properties and chemical abundances are determined. Seyfert properties revealed earlier to the spectra of the nucleus turned out to belong to one component while the other has spectral properties of H II regions. The Seyfert component rotates but the second component which is obviously a complex of H II region does not rotate.

ЛИТЕРАТУРА

1. *G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H. C. Jr. Corwin*, Second Reference Catalogue of Bright Galaxies, Austin, London, 1976.
2. *P. Nilson*, Uppsala General Catalogue of Galaxies, Uppsala Offset Center, 1973.
3. *V. A. Vorontsov-Velgaminov*; *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 28, 1, 1977.
4. *I. R. Caswell, D. Wills*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 135, 291, 1967.
5. *R. E. A. Fosbury, I. V. Wall*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 189, 79, 1979.
6. *В. П. Архипова, В. Ф. Есинов*, *Письма в Астрон. ж.*, 5, 168, 1979.
7. *А. В. Засов, Н. Д. Караченцев*, *Письма в Астрон. ж.*, 5, 237, 1979.
8. *I. I. Condon, M. A. Condon, G. G. Gisler, I. I. Puschell*, *Astrophys. J.*, 252, 102, 1982.
9. *I. W. Fried, H. Schulz*, *Astron. and Astrophys.*, 118, 166, 1983.
10. *S. Young, I. Kenney, S. D. Lord, F. P. Schloerb*, *Astrophys. J.*, 287, L65, 1981.

11. G. H. Rieke, R. M. Cutri, I. H. Black, W. F. Katley, C. W. McAlary, M. I. Lebovsky, R. Elston, *Astrophys. J.*, 290, 116, 1985.
12. R. D. Joseph, G. S. Wright, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 214, 87, 1985.
13. A. Toomre, in *Evolution of Galaxies and Stellar Population*, eds. B. M. Tinsley, R. B. Larson, New Haven, Connicut, 1977, p. 401.
14. R. P. Stone, *Astrophys. J.*, 218, 767, 1977.
15. Н. К. Андреасян, *Астрофизика*, 19, 45, 1983.
16. M. Brocklehurst, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 153, 471, 1971.
17. I. A. Baldwin, M. M. Phillips, R. Terlevitch, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 93, 3, 1969.
18. B. E. Pagle, M. D. Edmunds, D. E. Blackwell, M. S. Chun, G. Smith, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 189, 95, 1979.
19. T. Heckman, *Astron. and Astrophys.*, 87, 142, 1980.
20. M.-H. Ulrich, D. Pequtgnot, *Astrophys. J.*, 238, 45, 1980.
21. G. I. Ferland, H. Netzer, *Astrophys. J.*, 264, 105, 1983.
22. I. A. Rose, M. I. Tripicco, *Astrophys. J.*, 285, 55, 1984.
23. A. I. Diaz, B. E. I. Pagel, J. R. C. Wilson, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 212, 737, 1985.
24. L. Binnete, *Astron. and Astrophys.*, 143, 334, 1985.
25. A. V. Filippenko, *Astrophys. J.*, 289, 475, 1985.
26. R. Terlevitch, I. Melnick, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 213, 841, 1985.
27. M. Peimbert, R. Costero, *Bol. Observ. Tonantzintla*, 5, 3, 1969.
28. S. A. Hawley, *Astrophys. J.*, 224, 417, 1978.
29. A. G. W. Cameron, in "Essays in Nuclear Astrophysics", eds. S. A. Barnes, D. D. Clayton, D. M. Schramm, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
30. D. Kunth, F. Seura, *Prepr. No. 114, Inst. Astrophys., Paris*, 1985.
31. W. K. Stein, B. T. Soifer, *Ann. Rev. Astron. and Astrophys.*, 21, 177, 1983.
32. Н. К. Андреасян, Э. Е. Хачикян, *Астрофизика*, 15, 577, 1979.
33. Н. К. Андреасян, *Астрофизика*, 21, 74, 1984.