

УДК: 524.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛАКТИКИ МАРКАРЯН 306

А. Р. ПЕТРОСЯН, М. ТУРАТТО, Э. Е. ХАЧИКЯН

Поступила 21 марта 1985

Принята к печати 15 августа 1985

На основе спектров, полученных на 6-м телескопе САО АН СССР и на 2.72-м телескопе МакДональдской обсерватории, проведено спектроскопическое и спектрофотометрическое исследование двухъядерной галактики Маркарян 306. Для обоих ядер, сгущения северного спирального рукава галактики, по относительным интенсивностям наблюдаемых эмиссионных линий оценены значения T_e и p_e , содержание элементов O, N, S, массы и объема ионизованного газа и числа звезд типа O9. Все три образования являются объектами типа H II-областей. Обсуждается возможность считать северный спиральный рукав Маркарян 306 отдельной галактикой, ядерная область которой — это сгущение в ней. Рассматривается также реальность двухъядерной структуры галактики.

1. *Введение.* Галактика Маркарян 306 (МКГ 3-57-15) является представителем класса галактик с УФ-континуумом с двухъядерной структурой [1]. Она составляет физическую пару с другой УФ-галактикой без эмиссионных линий — Маркарян 305 [2]. Ее красное смещение определено в работах [2—4]. Красные смещения, а также описания спектров двух центральных конденсаций (ядер) галактики приведены в работе [5]. В [6] приведены данные *UBV*-фотометрии Маркарян 306. Галактика наблюдалась однажды в радиодиапазоне. Согласно [7] поток радиоизлучения от нее на волне 430 МГц меньше 0.1 ед. п.

В настоящей работе исследуется морфологическая структура и поле скоростей Маркарян 306. Приводятся также результаты детального спектрофотометрического исследования двух центральных конденсаций (ядер) галактики, а также двух сгущений, наблюдаемых в ее спиральных рукавах.

2. *Наблюдательный материал и обработка.* Крупномасштабные прямые снимки пары галактик Маркарян 305 и 306 получены на 4-м телескопе обсерватории Кит Пик (США) (28.06.73), на 6-м телескопе САО АН СССР (31.07.76) и неоднократно на 2.6-м телескопе БАО АН Арм.ССР.

Спектры Маркарян 306 получены на 2.72-м телескопе обсерватории Мак Дональд (США) в фокусе Кассегрена с прибором UVITS (25.09.73)

и в первичном фокусе 6-м телескопа САО АН СССР с помощью спектрографа СП-160 и ЭОП УМК-91В (11.09.82). В табл. 1 приведены данные о спектральных наблюдениях.

Масштаб на спектре UVITS перпендикулярно дисперсии составляет $\sim 57''/\text{мм}$, а на спектрах СП-160 — $\sim 17''/\text{мм}$.

При всех наблюдениях щель спектрографа была направлена по линии север—юг, вдоль перемычки галактики. В щель попало также сгущение на северном спиральном рукаве и начальная часть южного спирального рукава галактики.

Таблица 1

ДАННЫЕ О СПЕКТРАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ
МАРКАРЯН 306

Номер спектра	Экспоз. (мин)	Дисперсия (А/мм)	Спектр. диапазон А
Мак Дональд 5303	20	220	3400—7700
БТА	1	30	3600—5100
	2	20	4600—6100
	3	40	5700—7200

С целью построения поля скоростей вдоль указанного выше направления спектры, полученные на 6-м телескопе САО АН СССР, были измерены на «Аскорекорде» БАО Арм.ССР. Для учета ошибок, вводимых спектрографом и ЭОП в форму линий, измерены линии свечения ночного неба [O I] $\lambda\lambda$ 6300.3 и 6363.8, Hg I λ 5460.7 и N I λ 5200.7 вдоль высоты щели. Это дает возможность с достаточной точностью внести поправку за кривизну изображения щели при определении лучевых скоростей различных областей галактики.

Регистрация спектров для спектрофотометрического исследования производилась на микрофотометрах PDS-1010A и ИФО-451 БАО АН Арм.ССР.

3. *Результаты.* На основе прямых крупномасштабных снимков пары галактик Маркарян 306 и 305, полученных на трех крупных телескопах и воспроизведенных на рис. 1, проведено детальное морфологическое исследование.

Как видно из рис. 1, Маркарян 306 представляет собой спиральную галактику с неодинаковыми по виду спиральными рукавами. Центр симметрии галактики находится между двумя центральными конденсациями «а» и «b»-ядрами галактики [1]. Северное «а» ядро довольно компактное и с ним связан тонкий спиральный рукав. Южное «b» ядро диффузное, имеет сложную структуру, с его конца выходит широкий веерообразный

спиральный рукав. Этот рукав направлен в сторону галактики Маркарян 305, но резко обрывается не доходя до нее. На северном спиральном рукаве галактики расположено продолговатое сгущение высокой поверхностной яркости. Из этого сгущения, прямо в направлении конусообразного отростка, исходящего от Маркарян 305, тянется тонкий филамент. Создается впечатление, что галактики связаны друг с другом посредством этих структур. От северного рукава отходят два отростка, на концах которых наблюдаются слабые диффузные сгущения. Можно предположить, что северный рукав является отдельной галактикой, центральная область которой — это сгущение в ней, а два отростка со сгущениями и филамент, направленный в сторону Маркарян 305, являются ее спиралями (см. ниже).

На фоне непрерывного спектра Маркарян 306 выделяются спектры «а» и «b» ядер галактики, сгущения на северном спиральном рукаве и начальной части южного спирального рукава. Во всех спектрах наблюдаются эмиссионные линии [S II] $\lambda\lambda$ 6731/17, [N II] $\lambda\lambda$ 6584/48, H α , [O III] $\lambda\lambda$ 5007, 4959, H β , H γ и [O II] λ 3727.

Для получения картины распределения лучевых скоростей по галактике на спектрах вдоль высоты щели измерены линии [N II] λ 6584, H α , [O III] $\lambda\lambda$ 5007 и 4959, H β . Полученные данные подытожены в табл. 2, в последовательных столбцах которой приведены: расстояние от центра «а» ядра Маркарян 306 на север и юг вдоль высоты щели (в угл. секундах); разность лучевых скоростей относительно скорости центра «а» ядра галактики (по 18 измерениям его галактоцентрическая лучевая скорость равна 5840 км/с со стандартной ошибкой измерений 76 км/с) ее разных точек вдоль высоты щели по вышеотмеченным линиям; средние значения для этой разности со стандартной ошибкой измерения.

Картина распределения лучевых скоростей в галактике приведена на рис. 2, где черточками указаны величины стандартных ошибок измерения. Указаны также центры «а» и «b» ядер галактики и сгущения в северном рукаве. По точкам, соответствующим «перемычке» Маркарян 306 и сгущению северного спирального рукава, проведены регрессионные прямые.

Как видно из табл. 2 и рис. 2, сгущение в северном рукаве (которому соответствуют первые четыре строчки табл. 2) показывает автономное движение. Если предположить, что это движение обусловлено твердотельным вращением сгущения, то лучевая скорость этого движения на расстоянии 2."5 от центра сгущения порядка 100 км/с. Оценка массы сгущения при таком предположении оказывается равной $2 \cdot 10^9 M_{\odot}$ (здесь и далее $H = 75$ км/с Мпк). Твердотельное вращение показывает также «перемычка» Маркарян 306, содержащая «а» и «b» ядра с той лишь существенной разницей, что она вращается в обратном направлении. Примечательно, что центр симметрии прямолинейного участка кривой вращения, т. е. фактиче-

ски центр симметрии «перемычки», находится между «а» и «b» ядрами на расстоянии 2" к югу от «а» ядра. Градиент лучевой скорости на этом прямолинейном участке вращения равен 8.3 км/с на угл. с. Скорость вращения «перемычки» на расстоянии 8."5 от центра симметрии порядка 70 км/с. Это дает возможность оценить ее массу: порядка $4 \cdot 10^9 M_{\odot}$.

Таблица 2

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ В МАРКАРЯН 306
ОТНОСИТЕЛЬНО «а» ЯДРА

Расстояние от центра «а» ядра (сек. дуги)	Разница лучевых скоростей относительно центра «а» ядра (км/с)					$\Delta \bar{V}_r (\sigma_{\Delta V_r})$ (км/с)
	[N II] λ 6584	H α	[O III] λ 5007	[O III] λ 4959	H β	
север 13.6	—46	—89	—73	—60	—74	—68 (16)
11.9	—19	—29	21	20	30	5 (27)
10.2	38	52	153	54	152	90 (57)
8.5	95	124	137	139	135	126 (18)
6.8	22	78	106	18	38	52 (38)
5.1	20	10	50	38	22	28 (16)
3.4	—7	—27	65	29	39	20 (37)
+1.7	12	13	19	34	74	30 (26)
—1.7	17	—24	—20	—37	0	—13 (21)
3.4	—2	—64	—42	—76	—3	—37 (34)
5.1	—38	—68	—20	—112	56	—36 (62)
6.8	—47	—65	—41	—134	35	—50 (60)
8.5	—64	—66	—54	—155	9	—66 (58)
10.2	—99	—65	—188	—140	—40	—106 (59)
11.9		—154	—496		—97	—236
юг 13.6		—370			—193	—219

Две крайние южные точки на рис. 2 характеризуют движение начальной области южного спирального рукава.

Все достаточно яркие спектральные линии, отождествленные в спектрах ядер, сгущения северного рукава, начальной части южного спирального рукава были фотометрированы с точностью $\sim 15\%$, а слабые линии — $\sim 50\%$.

Наблюдаемые и исправленные за поглощение согласно [8] значения относительных интенсивностей эмиссионных линий приведены в табл. 3.

Вследствие отсутствия в спектрах авроральных линий для определения T_e использованы эмпирические зависимости между электронной температурой и отношениями $I([O III] + [O II])/I(H\beta)$ и $I([O III])/I([N II])$, приведенные в работах [9—11]. Усредненные по этим определени-

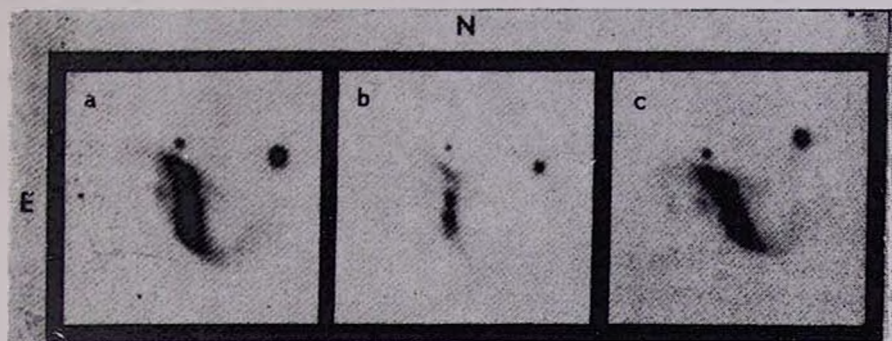


Рис. 1. Отпечатки прямых снимков пары галактик Маркарян 306 и 305. а) Снимок, сделанный на 6-м телескопе САО АН СССР; б) снимок 4-м телескопа обсерватории Кит Пяк; с) снимок 2.6-м телескопа БАО АН Арм.ССР. На всех отпечатках масштаб $\sim 2''/\text{мм}$.

К ст. А. Р. Петросяна и др.

ям и использованные при дальнейших расчетах значения T_e равны 7000, 7800, 7650 и 7500 соответственно для сгущения северного рукава, «а» и «б» ядер и начальной части южного рукава.

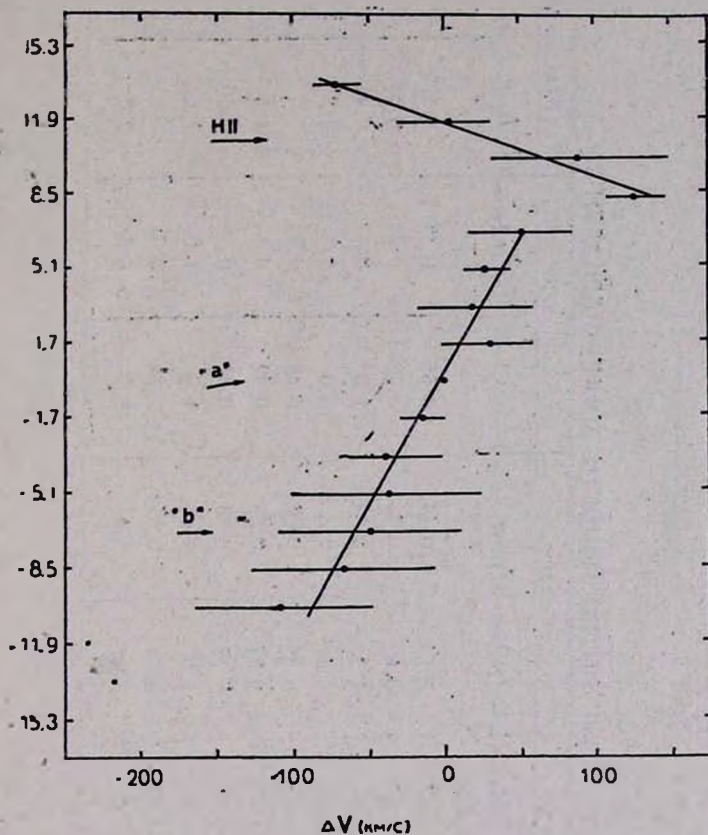


Рис. 2. Распределение лучевых скоростей в Маркарян 306. Черточками указаны величины стандартных ошибок измерений. Указаны центры «а» и «б» ядер галактики и сгущения в северном рукаве.

С помощью указанных T_e и по отношениям интенсивностей эмиссионных линий дублета [S II] $\lambda\lambda$ 6717/31 (см. табл. 3) и по данным работы [12] для эффективных значений электронных плотностей в указанных образованиях получены соответственно значения 80, 180, 390 и 280 см^{-3} .

Для выявления механизма ионизации и возбуждения эмиссионных линий, наблюдаемых в образованиях Маркарян 306, использована двухмерная классификационная диаграмма работы [13]. Эта диаграмма воспроизведена на рис. 3 с указанием на ней расположений сгущения северного рукава, «а» и «б» ядер и начальной области южного рукава.

Таблица 3

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИНИЙ МАРКАРЯН 306

	Север. сгущение		„а“ ядро		„б“ ядро		Южный рукав	
	$(I_{\lambda}/I_{H\beta})_{\text{набл.}}$	$(I_{\lambda}/I_{H\beta})_{\text{испр.}}$	$(I_{\lambda}/I_{H\beta})_{\text{набл.}}$	$(I_{\lambda}/I_{H\beta})_{\text{испр.}}$	$(I_{\lambda}/I_{H\beta})_{\text{набл.}}$	$(I_{\lambda}/I_{H\beta})_{\text{испр.}}$	$(I_{\lambda}/I_{H\beta})_{\text{набл.}}$	$(I_{\lambda}/I_{H\beta})_{\text{испр.}}$
[S II] λ 6731	0.55	0.50	0.54	0.44	0.65	0.38	0.32	0.32
[S II] λ 6717	0.75	0.68	0.69	0.56	0.78	0.42	0.38	0.38
[N II] λ 6584	0.76	0.69	1.2	0.99	1.3	0.73	0.45	0.45
H α	3.1	2.8	3.4	2.8	5.0	2.8	2.8	2.8
[N II] λ 6548	0.25	0.23	0.35	0.29	0.43	0.24	—	—
[O III] λ 5007	1.3	1.3	0.87	0.85	0.92	0.86	1.1	1.1
[O III] λ 4959	0.40	0.40	0.29	0.28	0.31	0.30	0.30	0.30
H β	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
H γ	0.29	0.30	0.33	0.36	0.24	0.31	—	—
[O II] λ 3727	1.6	1.8	2.7	3.4	1.7	3.3	2.8	2.8

Как видно из рис. 3, все четыре объекта обладают эмиссионным спектром, характерным для Н II-областей, в которых излучение в линиях обусловлено фотоионизацией коротковолновым излучением горячих О—В звезд.

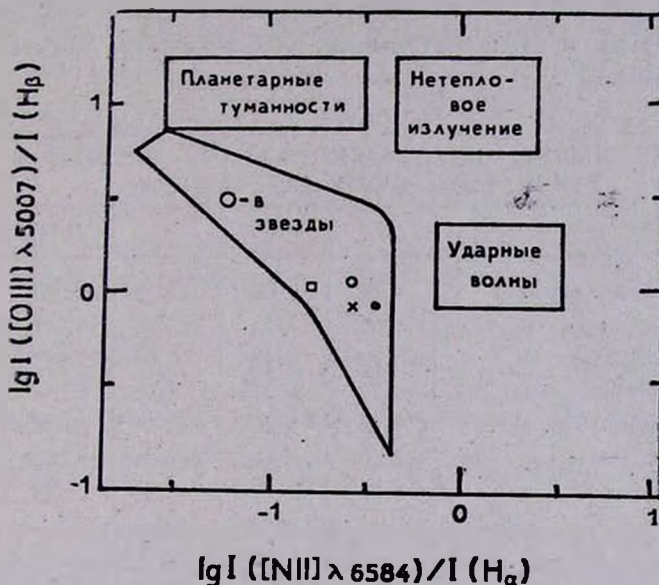


Рис. 3. Положение «а» (•) и «в» (х) ядер, сгущения северного рукава (о) и начальной части южного рукава (□) в двухмерной классификационной схеме по [13]. Контуры показывают границы изменения отношений $[O III]/H\beta$, $[N II]/H\alpha$ при разных механизмах ионизации.

На основе отношения O^{++}/O^{+} (см. табл. 3) по [14] можно оценить T_e — температуру ионизующих звезд, а по данным работы [15] — спектральный класс звезд, которые могут обеспечить эмиссионный спектр этих объектов. Для всех четырех образований T_e должна быть в пределах $3.3 \div 3.6 \cdot 10^4$ К [14], или ионизация газа обусловлена преимущественно звездами спектральных типов О9—В0 [15].

Если во всех исследуемых образованиях в Маркарян 306 работает механизм фотоионизации, то по вышеотмеченным значениям электронных плотностей и температур, по относительным интенсивностям эмиссионных линий (см. табл. 3) и при предположении, что в рассмотренных образованиях T_e не меняется, можно произвести расчет содержания кислорода, азота и серы в них согласно [16, 17]. Отметим, что, хотя вычисленное содержание серы является нижним пределом (наблюдаемый материал не дает возможности непосредственно определить относительное количество серы

в состоянии S^{++}), оно не должно сильно отличаться от действительного, так как согласно $[18] I([S II]) = I([S III])^3$, и вклад S^{++} в общее содержание серы должен быть небольшим.

Полученные значения логарифмов содержания тяжелых элементов для сгущения северного рукава, «а» и «b» ядер и начальной области южного рукава приведены в табл. 4. Отметим, что количество атомов водорода принято равным 10^{12} .

Таблица 4

ЛОГАРИФМЫ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В КОНДЕНСАЦИЯХ МАРКАРЯН 306

	O	N	S	N/O
Север. сгущ.	8.74	7.67	>7.34	0.085
«а» ядро	8.68	7.58	>7.03	0.081
«b» ядро	8.73	7.48	>6.96	0.057
Южный рукав	8.72	7.32	>6.95	0.040
Ядра спир. гал.	9.03	8.16	—	0.135
H II-области	8.60	7.59	>7.26	0.098
Солнце	8.92	7.99	7.23	0.117

Для сравнения в табл. 4 приведены содержания тех же элементов для ядер спиральных галактик [9], для галактических H II-областей [19] и для Солнца [20, 21]. Приведены также значения отношений содержания азота к кислороду в рассмотренных объектах.

Согласно [1] фотографические величины «а» и «b» ядер Маркарян 306 равны соответственно 18^m3 и 18^m0 . Фотографическая величина сгущения северного спирального рукава оценена 19^m5 . Согласно Коду [22], поток в линии H_{β} от звезды нулевой величины класса G 4 составляет $3 \cdot 10^{-9}$ эрг/см² с А. Тогда при значениях эквивалентных ширины линии H_{β} , равных 19, 13, 9 А, для сгущения северного рукава и для «а» и «b» ядер Маркарян 306 соответственно, получим следующие наблюдаемые потоки в линии H_{β} :

$$F_{H_{\beta}}^{H II} \sim 9.0 \cdot 10^{-16} \text{ эрг/см}^2 \text{ с}; F_{H_{\beta}}^a \sim 1.9 \cdot 10^{-15} \text{ эрг/см}^2 \text{ с};$$

$$F_{H_{\beta}}^b \sim 1.7 \cdot 10^{-15} \text{ эрг/см}^2 \text{ с}.$$

Если, руководствуясь наблюдаемыми значениями декремента в сгущении и в ядрах галактики, внести поправки за поглощение [8], то реальные потоки в линии H_{β} должны быть: $1.4 \cdot 10^{-15}$ эрг/см² с; $3.5 \cdot 10^{-15}$ эрг/см² с; $1.3 \cdot 10^{-14}$ эрг/см² с соответственно. С учетом расстояния до

Маркарян 306 (77 Мпк) для полного излучения в линии H_β получим значения:

$$L_{H_\beta}^{H II} = 9.6 \cdot 10^{38} \text{ эрг/с}; \quad L_{H_\beta}^* = 2.4 \cdot 10^{39} \text{ эрг/с}; \quad L_{H_\beta}^b = 9.1 \cdot 10^{39} \text{ эрг/с}.$$

Излучение от единичного объема водорода в линии H_β , определенное с помощью формулы, данной в работе [23], по значениям T_e и n_e , приведенным выше, будет:

$$I_{H_\beta}^{H II} = 7.0 \cdot 10^{-21} \text{ эрг/см}^3 \text{ с}; \quad I_{H_\beta}^* = 2.2 \cdot 10^{-20} \text{ эрг/см}^3 \text{ с};$$

$$I_{H_\beta}^b = 9.2 \cdot 10^{-20} \text{ эрг/см}^3 \text{ с}$$

для сгущения северного рукава, для «а» и «b» ядер соответственно.

Тогда реальные эффективные объемы излучающего газа в объектах будут равны:

$$V_{\text{эфф.}}^{H II} = 1.4 \cdot 10^{59} \text{ см}^3; \quad V_{\text{эфф.}}^* = 1.1 \cdot 10^{59} \text{ см}^3; \quad V_{\text{эфф.}}^b = 9.9 \cdot 10^{58} \text{ см}^3.$$

Для масс излучающего газа в них получим соответственно:

$$M^{H II} = V_{\text{эфф.}}^{H II} n_e m_H = 1.2 \cdot 10^4 M_\odot, \quad M^* = V_{\text{эфф.}}^* n_e m_H = 1.9 \cdot 10^4 M_\odot,$$

$$M^b = V_{\text{эфф.}}^b n_e m_H = 3.3 \cdot 10^4 M_\odot.$$

Спектры всех образований в Маркарян 306 сканированы со щелью с высотой $3.''4$, что с учетом аппаратной функции телескопа соответствует $\sim 2.''8$ или 1.1 кпк. При таком значении реального диаметра сгущения северного рукава, а также «а» и «b» ядер, для нижней границы фактора скважности в них получим значения:

$$\alpha^{H II} \sim 5.3 \cdot 10^{-6}, \quad \alpha^* \sim 4.4 \cdot 10^{-6}, \quad \alpha^b \sim 3.8 \cdot 10^{-6}.$$

Используя исправленные за поглощение значения светимостей объектов в линии H_β , можно оценить количество лаймановских квантов, излучаемых ими [24]:

$$N_{L_c}^{H II} = 1.9 \cdot 10^{51} \text{ квант/с}; \quad N_{L_c}^* = 4.9 \cdot 10^{51} \text{ квант/с};$$

$$N_{L_c}^b = 1.8 \cdot 10^{52} \text{ квант/с}.$$

Как отмечалось выше, ионизация газа в исследуемых образованиях Маркарян 306 обусловлена преимущественно звездами спектральных типов O9—B0. Тогда, по данным работы [15], можно оценить количество звезд типа O9, излучающих такое количество квантов: ~ 900 звезд для сгущения северного рукава, ~ 2300 звезд для «а» ядра и ~ 8500 — для «b» ядра.

4. *Обсуждение.* При рассмотрении морфологической структуры Маркарян 306 следует обратить внимание на следующие две особенности: peculiarное положение сгущения северного рукава в галактике и ее двухъядерная структура.

В частности, выше было высказано предположение, что это сгущение может быть ядром третьей галактики в системе Маркарян 306—305.

В пользу этого говорят следующие факты:

— Исходящий из сгущения юго-западный отросток не вписывается в общую классическую спиральную структуру Маркарян 306.

— Автономное вращение сгущения.

— По своим физическим характеристикам (содержание тяжелых элементов, большая масса ионизованного водорода, большое число молодых звезд) сгущение очень похоже на ядра Маркарян 306.

Вопрос требует дальнейшего специального рассмотрения, в частности, необходимо выполнить спектральные наблюдения со щелью, направленной вдоль сгущения.

На всех прямых снимках Маркарян 306, как это неоднократно отмечалось выше, четко выделяются две центральные конденсации. Ввиду того, что северная более компактна, может создаться впечатление, что именно она и является истинным ядром галактики.

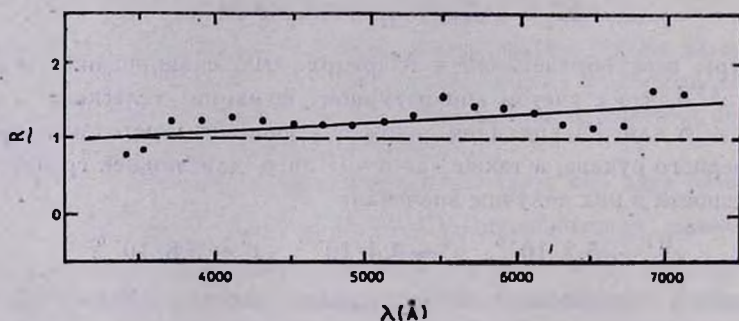


Рис. 4. Распределение отношения интенсивности непрерывного излучения «а» ядра Маркарян 306 к интенсивности излучения «b» ядра, по длине волны.

Однако в пользу двухъядерной структуры Маркарян 306 говорят следующие факты:

— По прямым снимкам центр симметрии галактики приходится между конденсациями.

— В сложной структуре южной конденсации выделяется довольно компактное, сравнимое с северной конденсацией, звездобразное образование на ее крайнем севере (см. рис. 1b).

— По кривой вращения центр симметрии твердотельного вращения «перемычки» приходится между конденсациями.

— Обе конденсации являются объектами типа H II-областей, хотя южная является более мощной областью звездообразования (большая масса ионизованного водорода, большое количество молодых звезд, небольшое значение отношения N/O, сравнительно голубой цвет (см. рис. 4)).

Из всего вышесказанного ясно, что Маркарян 306—305 является весьма интересной и сложной системой, и ее дальнейшее детальное исследование представляет большой интерес.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

Астрофизическая обсерватория
Азмаго, Университет г. Падова

Ереванский государственный
университет

INVESTIGATION OF THE GALAXY MARKARIAN 306

A. R. PETROSIAN, M. TURATTO, E. YE. KHACHIKIAN

The results of spectroscopic and spectrophotometric observations of Markarian 306 carried out on the 6 m telescope of SAO AS USSR and on the 2.72 m telescope of the MacDonald observatory are presented. By means of intensity ratios of observed 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 both nuclei and for the condensation in the north spiral arm of the galaxy are estimated. All three formations are H II region type objects. The possibility to consider the north spiral arm of Markarian 306 as a separate galaxy, the nucleus of which is its condensation, has been discussed. The reality of double-nucleus structure of the galaxy has also been discussed.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Р. Петросян, К. А. Саакян, Э. Е. Хачикян, *Астрофизика*, 14, 69, 1978.
2. Э. Е. Хачикян, *Astron. Nachr.*, 247, 287, 1976.
3. М. А. Аракелян, Э. Е. Дибай, Е. Ф. Есипов, *Астрофизика*, 8, 177, 1972.
4. J. Hachga, W. L. W. Sargent, *Astrophys. J.*, 186, 433, 1973.
5. А. Р. Петросян, К. А. Саакян, Э. Е. Хачикян, *Астрофизика*, 15, 209, 1979.
6. B. M. Peterson, K. Fricke, P. Biermann, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 93, 281, 1981.
7. H. M. Tovmassian, Y. Terzian, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 86, 649, 1974.
8. P. S. Osmer, M. G. Smith, D. W. Weedman, *Astrophys. J.*, 192, 279, 1974.
9. D. Alloin, S. Collin-Souffrin, M. Joly, L. Vigroux, *Astron. and Astrophys.*, 78, 200, 1979.

10. B. E. J. Pagel, M. G. Edmunds, D. E. Blackwell, M. S. Chun, G. Smith, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 189, 95, 1979.
11. P. A. Shaver, R. X. McGee, L. M. Newton, A. D. Danks, S. R. Pottash, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 204, 53, 1983.
12. И. В. Носов, Астрон. циркуляр, № 1050, 1979.
13. J. A. Baldwin, M. M. Phillips, R. Terlevich, Publ. Astron. Soc. Pacif., 93, 5, 1981.
14. J. B. Kaler, Astrophys. J., 210, 843, 1976.
15. P. G. Mezger, L. F. Smith, E. Churchwell, Astron. and Astrophys., 32, 269, 1974.
16. M. Peimbert, S. Torres-Peimbert, Astrophys. J., 168, 413, 1971.
17. P. Benvenuti, S. D'Odorico, M. Peimbert, Astron. and Astrophys., 28, 447, 1973.
18. J. B. Kaler, Astrophys. J., 244, 54, 1981.
19. S. A. Hawley, Astrophys. J., 224, 417, 1978.
20. D. L. Lambert, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 182, 249, 1978.
21. D. L. Lambert, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 183, 79, 1978.
22. А. Д. Код, Звездные атмосферы, ИЛ, М., 1963, стр. 67.
23. D. Menzel, Astrophys. J., 85, 330, 1937.
24. S. R. Pottash, Vistas Astron., 6, 149, 1965.