

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 14

МАЙ, 1978

ВЫПУСК 2

УДК 523.855

СПЕКТРАЛЬНОЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛАКТИК С UV ИЗБЫТКОМ. II. АРО 15

А. А. ЕГИАЗАРЯН, М. А. КАЗАРЯН, Э. Е. ХАЧИКЯН

Поступила 28 марта 1978

Приведены результаты подробного спектрофотометрического и морфологического исследования галактики Аро 15, имеющей ультрафиолетовый избыток в спектре. Галактика содержит несколько бросающихся в глаза отдельных сгущений, показывающих эмиссионный спектр, и имеет расщепленное ядро. Измерены эквивалентные ширины и относительные интенсивности эмиссионных линий, а также электронная плотность ядра.

1. *Введение.* Настоящая статья является продолжением серии работ по спектральному и морфологическому исследованию галактик с UV избытком. Первая работа этой серии была посвящена NGC 6306 [1].

В 1956 г. Аро на обсерватории Тонанцинтла обнаружил 44 галактики, имеющие голубой цвет и довольно сильный ультрафиолетовый избыток [2]. Спектральные наблюдения части этих галактик показали, что они обладают сильным эмиссионным спектром [3].

В настоящей статье приведены результаты подробного спектрофотометрического исследования одной из этих галактик — Аро 15.

Спектр галактики, полученный на 40" телескопе системы Шмидта Бюраканской астрофизической обсерватории с 1.5 объективной призмой, показывает сильный ультрафиолетовый избыток. Показатели цвета $U-V$ и $B-V$, полученные Дю-Пу электрофотометрическим методом, равны -0^m37 и 0^m28 соответственно [3], что также указывает на избыточное излучение в ультрафиолетовой части спектра.

Красное смещение Аро 15, определенное по эмиссионным линиям, равно $z = 0.0215$ [4], что соответствует лучевой скорости $v_r = 6450$ км/сек. Расстояние до галактики 86 Мпс (при $H = 75$ км/сек Мпс). Абсолютная фотографическая величина галактики $M_{pg} = -20^m8$.

Щелевые спектры ее разных областей получены на 200" телескопе Паломарской обсерватории и 107" телескопе обсерватории МакДональд. Краткое сообщение об этих наблюдениях было опубликовано ранее [4]. В табл. 1 приведены некоторые данные о вышеупомянутых спектрах.

Таблица 1

№	Номер пластинки	Дата наблюдения	Телескоп	Экспозиция (мин)	Позицион- ный угол щели	Сорт эмульсии
1	Q 4368	7.03.1973	200"	5	90	Kodak Па-О
2	UVITS 303a	23.09.1973	107	20	0	"
3	UVITS 303b	23.09.1973	107	15	0	"
4	UVITS 327c	29.09.1973	107	10	0	"
5	UVITS 327d	29.09.1973	107	8	0	"

Кроме того, для выяснения морфологических деталей в Аро 15, на новом 2.6-м телескопе Бюраканской астрофизической обсерватории получены крупномасштабные прямые снимки в первичном фокусе (оригинальный масштаб: 1 мм = 20").

На рис. 1а приводится фотография галактики Аро 15, полученная на этом телескопе 28/29.09.1976 г., на пластинках Zu-2 с экспозицией 20 мин. Галактика состоит из отдельных областей и сгущений, некоторые из них обозначены на рис. 1а римскими цифрами.

Центральная, наиболее яркая область галактики обозначена цифрой I. К востоку от I, на расстоянии примерно 8—9", расположено сгущение II, которое по яркости уступает I, III и IV — более слабые сгущения находятся от II к северу на расстоянии 9 и 18" соответственно.

2. *Описание спектров.* Репродукции трех из полученных спектров Аро 15 приведены на рис. 1 б, с, d. Ниже приводится описание всех спектров.

Q 4368 (рис. 1b). При получении этого спектра щель спектрографа проходила через яркую центральную область галактики (I на рис. 1а) и имела направление восток—запад. Спектр состоит из яркого непрерывного континуума и довольно ярких эмиссионных линий. Непрерывный спектр, имеющий наибольшую ширину порядка 10", относится к яркой центральной области галактики и имеет более резкие границы с востока и более диффузные с запада. Эмиссионные линии по высоте щели значительно выходят за пределы непрерывного спектра и имеют по высоте щели протяжение порядка 40" и прослеживаются далеко к востоку.

Эмиссионные линии наиболее интенсивны в области I.

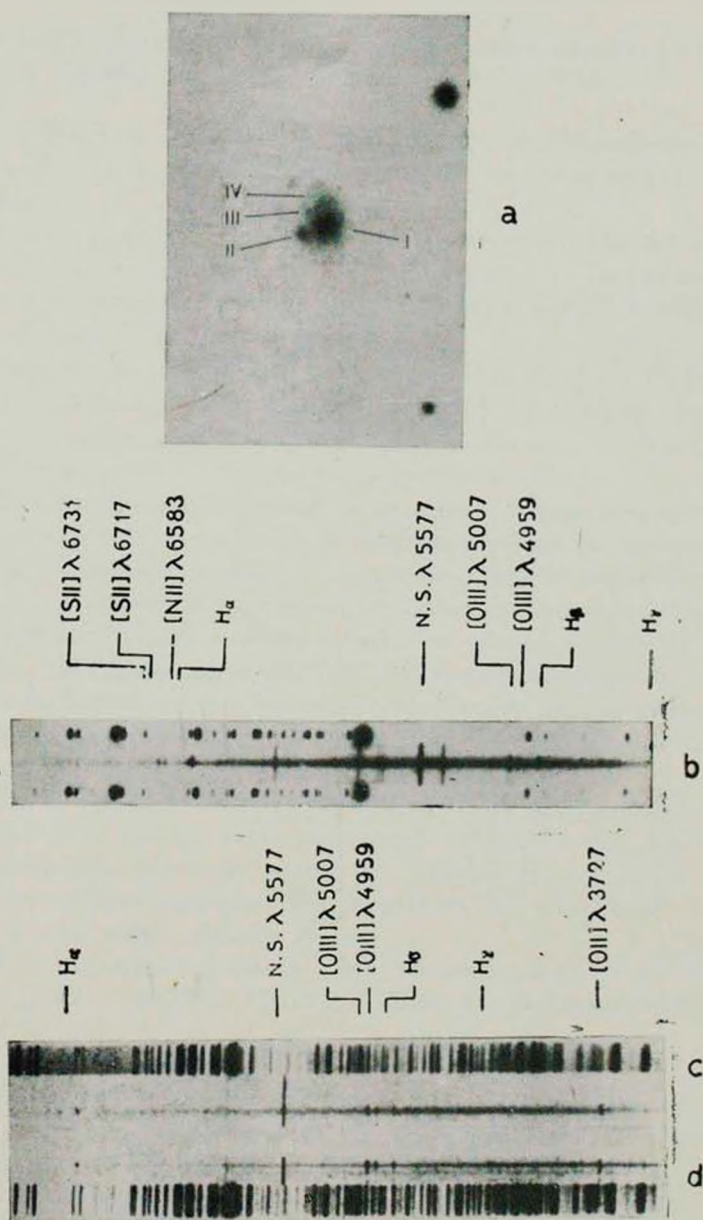


Рис. 1. а) Фотография галактики Арп 15. Репродукции: б) спектра Q 4368, в) спектра UVITS 303а, г) спектра UVITS 303б.

Отождествлены следующие эмиссионные линии: [S II] λ 6731/17, [N II] λ 6583/48, H_{α} , [O III] λ 5007, 4959, H_{β} и H_{γ} .

UVITS 303a (рис. 1с). Спектр получен при позиционном угле щели, равном 0° . Как и для предыдущего спектра, она была поставлена на яркую область I.

В спектре наблюдается сильный ультрафиолетовый избыток, который прослеживается до 3100Å. Непрерывный спектр по высоте щели имеет более резкие границы с северной стороны, чем с южной и наибольшую ширину порядка $10''$ в области около 4400Å.

Наблюдаются также сильные эмиссионные линии [N II] λ 6583, H_{α} , [O III] λ 5007, 4959, H_{β} , H_{γ} , [O II] λ 3727. По высоте щели они состоят из трех частей различной яркости. Каждая из них представляет спектр определенного сгущения в галактике.

Самое яркое из сгущений расположено непосредственно в наиболее интенсивной части непрерывного спектра, а второе по яркости — к югу от него на расстоянии порядка $5''$ и причем смещено в длинноволновую область на величину, соответствующую лучевой скорости порядка 300 км/сек. Эти сгущения входят в состав области I и обозначены как Ia и Ib соответственно. На прямом же снимке (рис. 1а) они не разделяются. Наиболее слабое из сгущений, которое не выделяется на рис. 1а, находится к северу от первого на расстоянии примерно $8''$ и имеет одинаковую с ним лучевую скорость.

Линия [O II] λ 3727 имеет в общем такую же структуру, но она ярче, чем остальные линии и в ней от второго сгущения к югу простирается слабое однородное свечение, вплоть до границы щели. Общая высота этой линии составляет примерно $30''$. Вторая по яркости линия H_{γ} , к примеру, имеет общую высоту меньше $20''$.

В Ia наблюдаются также линии поглощения от H_{α} до H_{13} и слабые линии [S II] λ 6731/17. На рис. 2 приведена регистраграмма спектра сгущения Ia.

UVITS 303b (рис. 1d). В отличие от предыдущих спектров щель здесь была направлена вдоль областей II, III и IV. Наиболее интенсивным получился спектр области II, в котором выделяется довольно яркий ниточный непрерывный спектр, шириной $4''$, соответствующий его оптическим размерам (см. рис. 1а) и прослеживающийся до 3100Å. На него накладываются очень интенсивные эмиссионные линии [N II] λ 6583/48, H_{α} , [O III] λ 5007, 4959, H_{β} λ 4686, H_{γ} , H_{δ} , H_{ϵ} , [Ne III] λ 3968, 3869 и [O II] λ 3727. Наблюдаются также линии поглощения от H_{α} до H_{13} .

Область III также имеет ниточный спектр с шириной порядка $2''$, но она значительно слабее. В спектре наблюдаются эмиссионные линии 5—535

H_α , [O III] $\lambda\lambda$ 5007, 4959, H_β и [O II] λ 3727. Подобный же спектр имеет и область IV, однако эмиссионные линии здесь имеют точечный вид.

Регистрограмма сгущения II приведена на рис. 2.

UVITS 327c, 327d. При получении этих спектров щель охватывала примерно ту же область в галактике, что и UVITS 303a и 303b соответственно: экспозиции были при этом в два раза меньше. Однако их спектры по виду несколько отличаются друг от друга. Например, в отличие от спектра UVITS 303a в сгущении Ia спектра 327c бальмеровские линии находятся в поглощении, начиная от H_α , а в спектре области II в 327d, в отличие от 303b, — начиная от H_{11} .

3. Относительные интенсивности, эквивалентные ширины линий и электронная плотность. Значения относительных интенсивностей эмиссионных линий для областей I, II, III и IV приведены в табл. 2, а эквива-

Таблица 2

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ
В СПЕКТРЕ АРО 15 ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Ион	λ	UVITS 303a		UVITS 303b			UVITS 327c	UVITS 327d
		Ia	Ib	II	III	IV	Ia	II
[N II]	6583	1.13	0.55	1.55	0.90	4.11	0.33	8.32
H_γ	6563	10.10	3.08	4.92	5.19		6.99	
[N II]	6548	0.52	0.40	0.24	0.50		0.27	
He I	5876	0.39	—	0.40	2.01	1.54	0.79	—
[Fe VI]	5237	0.21	+	0.33	0.27	0.47	0.20	+
[O III]	5007	3.09	2.12	3.78	3.18	1.99	2.78	3.15
[O III]	4959	0.72	0.97	1.62	0.78	1.00	1.03	1.84
H_β	4861	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
He II	4586	—	—	+	—	—	—	0.13
H_γ	4340	0.37	0.20	0.35	0.50	0.41	0.25	0.34
H_δ	4102	—	—	0.22	0.40	0.75	0.19	0.17
H_ϵ	3970	—	—	0.28	0.80	0.49	0.16	0.21
[Ne III]	3968	0.22	0.30			—		
H_δ	3889	—	—	0.05	—	—	—	0.07
[Ne III]	3869	0.50	0.51	0.31	0.75	—	0.30	0.35
H_γ	3835	—	—	—	—	—	—	0.09
H_{11}	3798	—	—	—	—	—	—	0.08
[O II]	3727	4.20	2.40	1.40	3.66	2.41	3.15	0.93

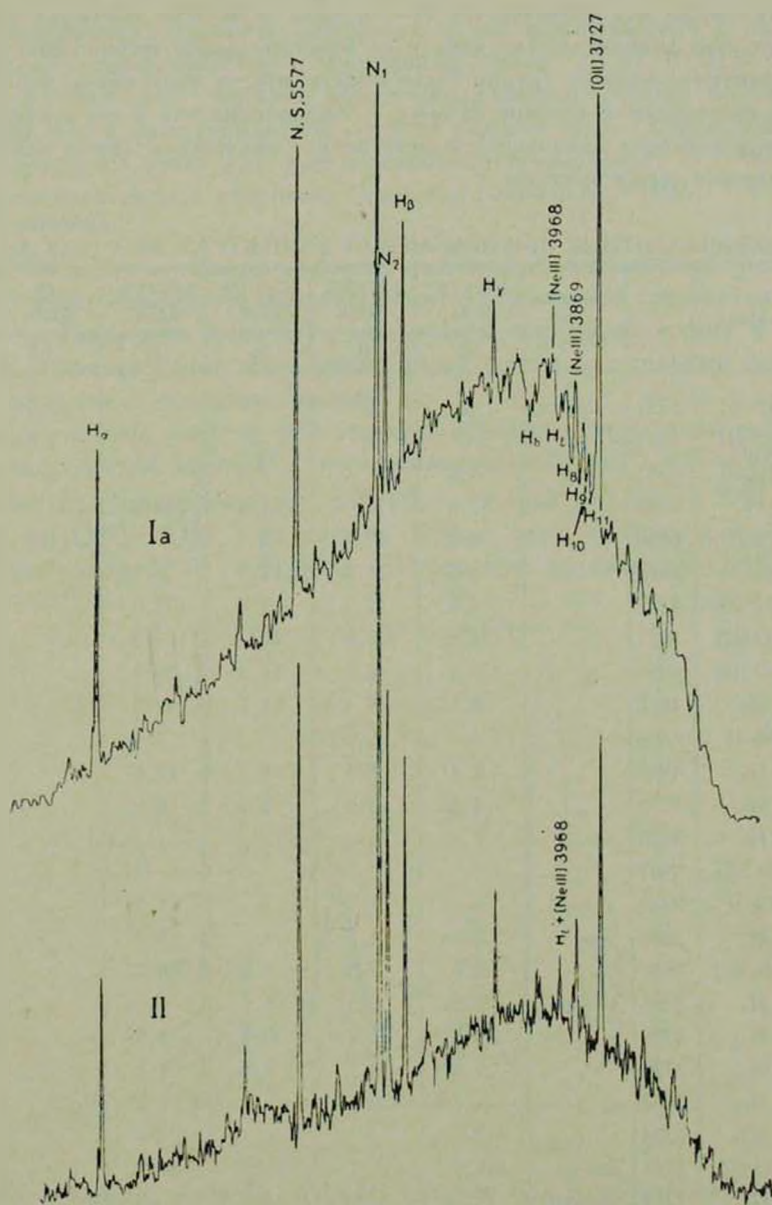


Рис. 2. Регистрограммы спектров сгущений Ia (UVITS 303a) и II (UVITS 303b).

лентных ширин для областей I и II — в табл. 3. В этих таблицах крестик означает, что данная линия слаба и ее относительную интенсивность или эквивалентную ширину трудно было определить, а черточка — что линия вообще отсутствует в спектре. В табл. 3 обозначения «а» и «э» в четвертом и седьмом столбцах означают соответственно, что данная линия находится в поглощении или в эмиссии.

Таблица 3

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ ЛИНИЙ В СПЕКТРАХ АРО 15 (В А)

Ион	λ	Эмисс. или абсорб.	UVITS 303a	UVITS 303b	UVITS 327c	UVITS 327d	Q 4368
			Ia	II	Ia	II	I
[S II]	6731	эмисс.	+	+	+	—	6.2
[S II]	6717	"	+	+	+	—	4.5
[N II]	6583	"	9.4	34.6	3.7		6.5
H ₇	6563	"	87.6	175.6	81.6	234.0	34.5
[N II]	6548	"	4.7	10.9	2.7		1.3
He I	5876	"	3.5	31.9	12.3	6.9	
[Fe VI]	5237	"	2.0	12.7	7.6	7.0	
[O III]	5007	"	22.8	134.0	43.5	168.0	
[O III]	4959	"	5.3	64.5	16.5	89.0	
H ₅	4861	"	8.1	29.4	14.1	49.4	
He II	4686	"	—	1.5	—	5.4	
H ₇	4340	"	2.4	8.5	3.3	15.3	
H ₅	4102	"	3.4a	5.0	2.4	4.9	
H ₄	3970	"	1.4a	4.9	2.4	6.3	
[Ne III]	3967	"	—				
Ca II	3935	абсорб.	—	—	—	1.5	
H ₅	3889	эмисс.	3.1a	1.3	—	3.3	
[Ne III]	3869	"	3.0	7.8	3.5	15.0	
H ₉	3835	абсорб.	2.5	0.5	1.6	4.5a	
H ₁₀	3798	"	0.5	1.2	0.7	3.9a	
H ₁₁	3770	"	1.8	0.5	1.2	4.1	
H ₁₂	3750	"	—	0.5	—	1.0	
H ₁₃	3734	"	+	+	+	+	
[O II]	3727	эмисс.	33.6	51.7	49.5	40.7	
H ₁₄	3722	абсорб.	+	—	—	—	
H ₁₅	3712	"	+	0.8	+	—	

Для определения спектральной чувствительности системы в качестве стандарта была выбрана галактика 3C 120, для которой с достаточной точностью известно распределение энергии в спектре.

Электронная плотность определена лишь для области I с помощью отношения интенсивностей запрещенных линий $[S II] \lambda\lambda 6717$ и 6731 ($R = I 6717/I 6731$), которые хорошо выделяются только на спектре Q 4368; R для вышеупомянутой области равно 0.74; n_e определена методом Сарафа и Ситона [5], при электронной температуре $T_e = 10\,000^\circ K$. Значение электронной плотности оказалось равным $n_e = 180$.

4. Обсуждение. Из приведенных наблюдательных данных видно, что Аро 15 имеет интересную морфологическую структуру и спектральные особенности. Галактика выделяется отдельными яркими областями и сгущениями. В спектрах этих образований наблюдаются как сильные эмиссионные линии, так и линии поглощения.

Эмиссионные линии во всех спектрах несколько шире линий неба. Контуры эмиссионной линии H_α , построенные по спектрам UVITS 303a (Ia) и 303b (II), приведены на рис. 3, а линий $[O III] \lambda\lambda 5007, 4959$, H_β и $[O II] \lambda 3727$ — на рис. 4. Кроме того, на рис. 4 приведены контуры линий $[S II] \lambda\lambda 6731/17$, построенные по спектру Q 4368. Как

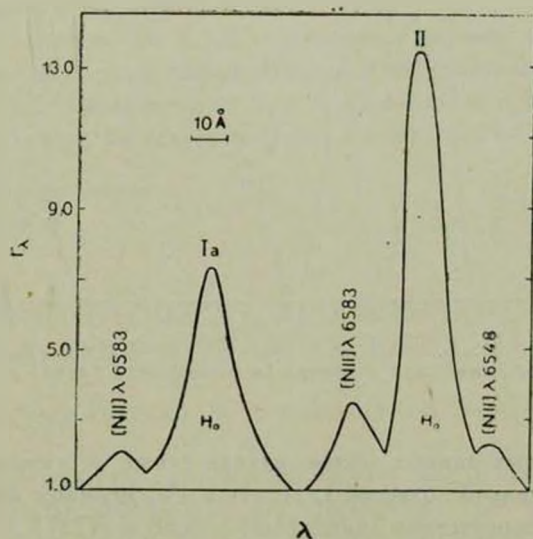


Рис. 3. Контуры линий H_α и $[N II]$ сгущений Ia и II, построенные по спектрам UVITS 303a и 303b соответственно.

видно из этих рисунков, все контуры, кроме H_β , на рис. 4 имеют симметричный вид. Так как линия H_β в спектре Ia находится как в эмиссии, так и в поглощении, то на рис. 4 наряду с эмиссионным компонентом приведен и компонент поглощения.

Из табл. 2 видно, что во всех областях Аро 15 бальмеровский декремент круче, чем теоретический, рассчитанный для любой модели газовых туманностей. Относительные интенсивности $I_{H\alpha}/I_{H\beta}$, за исключением одной области Ib (UVITS 303a), намного больше, чем их теоретическое значение. Наибольшее значение для этого отношения получается для центрального самого яркого сгущения Ia (UVITS 303a). Оно равно 10.1, что в 3.7 раза больше теоретического значения. Как было отмечено в [1], это, по-видимому, может быть результатом двух причин: а) поглощения пылью в самой галактике, б) влияния абсорбционных компонентов бальмеровских линий на их эмиссионный компонент.

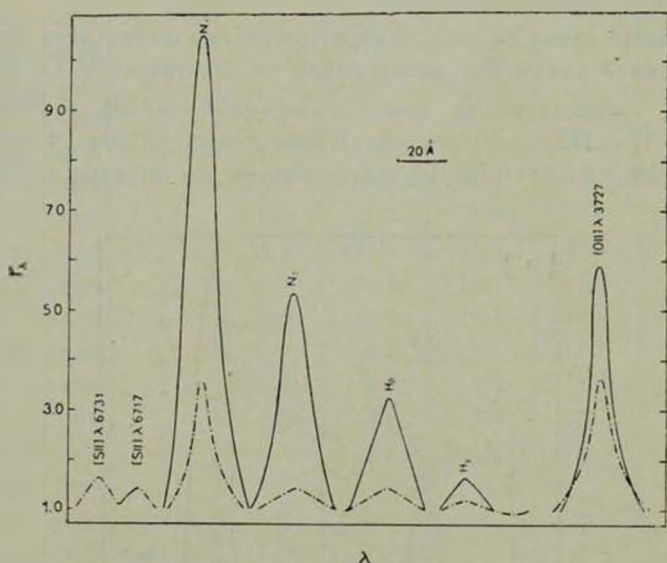


Рис. 4. Контурь линий: для сгущения Ia (пунктирная линия) и II (сплошная линия).

Из полученных данных можно судить также о степени возбуждения газовой составляющей областей I, II, III и IV, мерилom которой в случае Аро 15 служат присутствие линий $HeII \lambda 4686$ и $[OII] 3727$ и их интенсивности. Первая из этих линий является признаком высокого возбуждения, а вторая — низкого. Линия $HeII \lambda 4686$ наблюдается только в Ib и II, которые, можно сказать, являются высоковозбужденными областями. Отсутствие этой линии в областях Ia, III и IV, по всей вероятности, является результатом их низкого возбуждения, по сравнению с первыми двумя областями. В пользу последнего вывода говорит также тот факт, что в областях Ia, III и IV линия $[OII] \lambda 3727$ более интенсивна (см. табл. 2).

Интересно, что лучевая скорость сгущения Ib отличается от таковых сгущений Ia, II, III и IV примерно на 300 км/сек. Диаметр области I равен примерно 4000 пс, а расстояние между центрами Ia и Ib составляет около 2000 пс. Это означает, что Ia и Ib фактически составляют очень тесную пару, которая, вероятно, является расщепленным ядром Аро 15, с компонентами, имеющими разные лучевые скорости.

Интересной деталью галактики является сгущение II, находящееся на расстоянии порядка 3400 пс от I. Его диаметр равен 1600 пс, а абсолютная звездная величина $M_{pg} = -18^m.4$ (видимая величина II оценена по снимку, полученному на 2.6-м телескопе). Кроме этого, как отмечалось, сгущение имеет сильный эмиссионный спектр высокого возбуждения. Эти характеристики присущи сверхассоциациям [6, 7], поэтому можно сказать, что сгущение II является яркой сверхассоциацией в Аро 15.

Сходные физические характеристики имеют также сгущения III и IV, но они значительно уступают II как по яркости, так и по размерам. Вероятно, они являются более слабыми сверхассоциациями.

С уверенностью можно утверждать, что Аро 15 является иррегулярной галактикой с активными областями, в которых происходит интенсивное звездообразование, наподобие NGC 6306.

Один из авторов (Э. Е. Х.) пользуется случаем выразить глубокую благодарность директору МакДональдской обсерватории проф. Х. Смит и директору Хейл обсерваторий д-ру Х. Бэбкоку за предоставленную возможность наблюдать на телескопах этих обсерваторий.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

SPECTROPHOTOMETRY AND MORPHOLOGY OF THE GALAXIES WITH UV EXCESS. II. HARO 15

A. A. YEGIAZARIAN, M. A. KAZARIAN, E. Ye. KHACHIKIAN

The results of the spectrophotometry and morphology of the galaxy Haro 15 with UV excess are presented. The galaxy consists of some separate knots with strong emission spectrum. The galaxy has a splitted nucleus. The equivalent widths and relative intensities of the emission lines, as well as the electron density of the nucleus are measured.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Казарян, Э. Е. Хачикян, *Астрофизика*, 13, 415, 1977.
2. G. Haro, *Bol. Obs. Tonantzintla*, No 14, 8, 1956.
3. Du Puу, A. J., 75, 1143, 1970.
4. М. А. Казарян, Э. Е. Хачикян, *Астрофизика*, 10, 477, 1974.
5. H. E. Saraph, M. F. Seaton, M. N., 148, 367, 1970.
6. В. А. Амбарцумян, Р. К. Шахбазян, *ДАН Арм. ССР*, 25, 185, 1957.
7. A. N. Stockton, A. J., 73, 887, 1968.