

УДК 524.7

СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХ ГАЛАКТИК С УФ-ИЗБЫТКОМ

М.А.КАЗАРЯН, В.С.ТАМАЗЯН

Поступила 4 июня 1992

Принята к печати 12 октября 1992

Проведено спектральное исследование ядра и одного ступеня в галактике №26, а также галактик №33 и 110 из первого списка М.А.Казаряна. Для всех объектов вычислены эквивалентные ширины и относительные интенсивности эмиссионных линий, а также эффективный объем и масса излучающего газа, светимость в линии $H\beta$ и ряд других физических характеристик. Ступень в галактике №26 и три части прерывистой галактики № 110 являются гигантскими H II областями. Полная ширина на половине максимума у эмиссионных линий в галактике №33 порядка 500 - 600 км/с. Отсутствие эмиссионной линии $[OII]\lambda 6300$ и другие спектральные особенности позволяют рассматривать эту галактику как промежуточную между типами Sy2 и лайнером.

1. Введение. В работе представлены результаты подробного спектрального исследования трех галактик из первого списка Казаряна - №26, 33 и 110, видимые яркости которых соответственно составляют $13^m.7$, $15^m.8$ и $17^m.2$ [1].

Детальное морфологическое и фотометрическое исследование галактики №26, проведенное в работах [2,3], показало, что эта спиральная галактика типа Sc с весьма ярким ядром имеет характерный для сейфертовских галактик необычно голубой цвет ($B = 13^m.5$; $U-B = -1^m.1$, $B-V = +0^m.54$). В спектре ядра наблюдаются очень сильные, но узкие эмиссионные линии.

В этой работе впервые публикуются также данные спектрального исследования одного из ступеней в галактике №26, которое в [2] отмечено римской цифрой I.

Относительно галактики №33 в [1] сказано, что это компактная галактика диаметром 4", почти не отличающаяся от звезды. Для него предварительные спектральные данные приведены в работах [1,5].

Галактика №110 в [1] описана как нерегулярная, состоящая из двух частей, а в [6] на основании ряда отождествленных в ее спектре эмиссионных линий определено красное смещение $z = 0.053$.

2. *Наблюдательный материал и методика обработки.* Все использованные в работе спектры получены на 6-м телескопе САО РАН. Подробные данные о них приведены в табл. 1.

Для калибровки спектров использовался восьмиступенчатый ослабитель САО, а для построения кривых реакции системы использовались стандартные звезды из списка Стоуна [7].

Таблица 1

СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

№ пикет- тики по [1]	Дата наблю- дения	Светопринима- ющая аппаратура (число каналов)	Экспоз. (мин.)	Спектральная область (в Å)
26	17.06.1983	UAGS10011 УМК-91В	10	3550 - 6400
"	"	"	"	4470 - 7500
"	03.10.1984	"	15	"
"	"	"	10	3550 - 6400
33	17.06.1983	UAGS1 сканер(512)	6	5650 - 7100
"	06.06.1986	UAGS1 сканер(1024)	37	3670 - 5410
"	"	"	20	5040 - 6780
"	"	"	29	5310 - 7040
110	29.06.1984	UAGS10011 УМК-91В	20	4470 - 7500
"	"	"	25	3550 - 6400

Предварительная обработка спектров (устранение искажений из-за модуляции, за зенитное расстояние и т.д.) была проведена в САО, а окончательная обработка - в ВП Бюраканской обсерватории. Спектры, полученные при помощи ЭОП на эмульсии Kodak-103aO, регистрировались на спектрофотометре ИФС-451 кафедры астрофизики ЕрГУ и обрабатывались вручную.

Поправки за покраснение для относительных интенсивностей эмиссионных линий вычислялись по формуле:

$$\lg(I_{\lambda}/I_{\beta})_{\text{исп.}} = \lg(I_{\lambda}/I_{\beta})_{\text{набл.}} + C(H_{\beta})f(\lambda),$$

Значения $f(\lambda)$ взяты из работы Уитфорда [8], а коэффициент покраснения $C(H\beta)$ вычислен путем сравнения наблюдаемого балмеровского декремента с теоретическим (случай B, $T_e=10^4$), приведенным в работе [9].

Поскольку в полученных спектрах отсутствуют линии, необходимые для непосредственного определения электронной температуры T_e , последние определялись на основании полученной в [10] ее эмпирической зависимости от $L([O III] + [O II])/I_{H\beta}$.

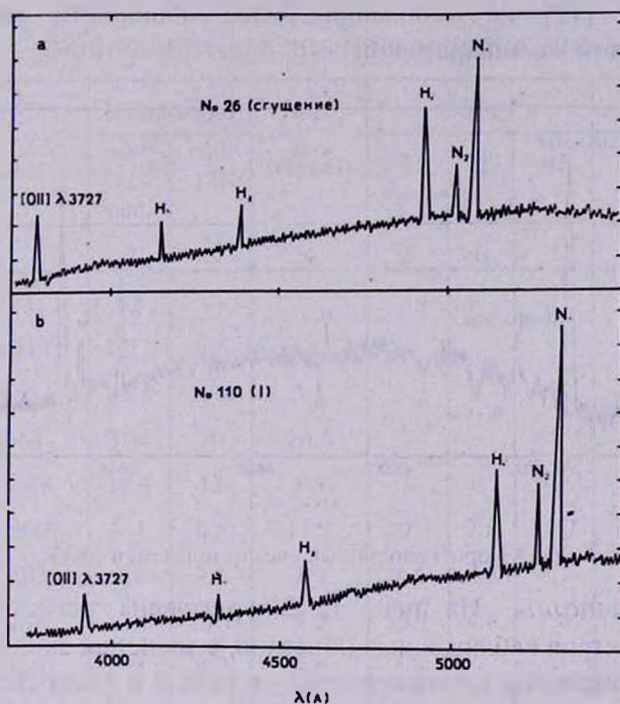


Рис. 1 Коротковолновые спектры: а) сгущения I в галактике №26, б) части I галактики №110.

Электронная плотность определялась по отношению интенсивностей линии дублета серы $[S II] \lambda\lambda 6717/6731$ для соответствующих значений электронной температуры [11].

В целом точность определения спектрофотометрических данных составляет для сильных и умеренных линий 15-20%, а в случае слабых она достигает 50%. В ряде случаев, когда у линий интенсивность непрерывного спектра объекта была слабой, определялись только их

относительные интенсивности, т.к. определение эквивалентных ширины было связано с большими ошибками.

Особенно тщательно определялись полуширины линий в спектрах галактики №33, а также линий неба. Многочисленные измерения последних ($\lambda\lambda 6300, 6364, 5790, 5770, 5577$ и др.), сравнимых и даже превосходящих по интенсивности линий самой галактики показали, что полуширины линий неба колеблются в пределах 200-250 км/с. Практически такие же значения для линий неба получены А.Бурепковым [12] на основании более обширного материала, полученного с той же аппаратурой.

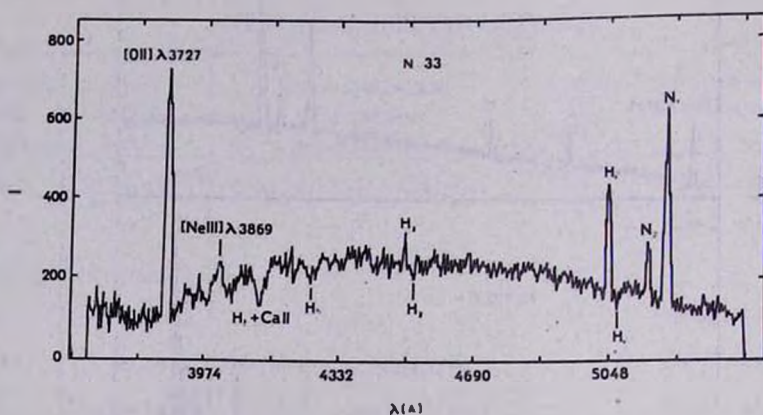


Рис.2 Коротковолновый спектр галактики №33.

3. **Результаты.** На рис. 1, 2 приведены регистрограммы некоторых спектров наблюдаемых объектов, а значения эквивалентных ширины и относительных интенсивностей - в табл. 2 и 3, соответственно. В этих таблицах для сравнения приведены также данные для ядра галактики №26 по [2], а в последнем столбце табл. 2 - значения полуширины линий на половине максимума ($FWHM$) галактики №33.

При исследовании ядра галактики №26 выяснилось, что ее спектр не претерпел существенных изменений - в нем наблюдаются практически те же линии, что и в 1981г. [2]. Сравнение показывает, что его сектрофотометрические параметры также оставались неизменными. Лишь в случае $H\alpha$ наблюдается увеличение эквивалентной ширины с 70 до 104 Å и относительной интенсивности с 5.3 до 6.6. Заметим, что данные в табл. 3 для ядра галактики не исправлены, как и в [2], за поглощение.

Спектр сгущения I в этой галактике (рис. 1а) типичен для II II-области: на фоне относительно слабого непрерывного спектра наблюдаются сильные и узкие эмиссионные линии балмеровской серии H_{α} - H_{δ} , [O II] λ 3727, [O III] λ 5007, 4959, [N II] λ 6584, 6548, [S II] λ 6731, 6717. Определенное по этим линиям красное смещение составляет $z = 0.0137$, практически совпадая с z ядра. Яркость этого сгущения в лучах B составляет 17^m.0 (абсолютная величина $M_{13} = -16^m.7$, при $H = 75$ км/с. Мпк).

Таблица 2
ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ

Ион, λ_0	№26 (ядро)		№26 (сгущ.)	№110			№33	
	паст. - раб.	раб. [2]		I	II	III	W_{λ}	$FIVIM$ (км/с)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
[SII]6731	82	83	-	-	-	-	90	-
[SII] 6717	11.7	9.5	-	-	-	-	12.2	-
[NII] 6584	43.5	39.0	3.1	-	-	-	28.4	490
II 1 6563	104	70	20.6	-	-	-	88.6	590
[NII] 6548	18.3	12	1.3	-	-	-	9.8	480
[O III] 5007	8.4	6.5	11.2	29.0	7.8	21.7	36.2	660
[O III] 4959	3.2	2.2	3.9	8.6	2.8	8.1	11.5	510
II 1 4861	17.5	14.1	9.2	13.1	4.8	7.8	19.5	670
II 1 4340	5.3	4.2	4.8	5.4	-	-	4.0	560
II 1 4102	2.0	1.9	3.8	3.9	-	-	1.2	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9
II 1 3970	1.2	0.75	-	-	-	-	12.6н	-
[NeIII] 3869	-	-	-	-	-	15.1	580	-
[O II] 3727	12.1	9.1	-	-	-	-	51.8	630

Обращает на себя внимание довольно большое значение $I_{H_{\alpha}}/I_{H_{\beta}} = 7$. у II II-областей, указывающее, по всей вероятности, на значительное внутреннее поглощение пылью. Значения n_e , T_e и ряд

других физических характеристик этого ступення вместе с данными для других объектов собраны в табл. 4.

В спектре галактики №33 (рис.2) отождествлены эмиссионные линии [O II] λ 3727, [Ne III] λ 3869, [O III] $\lambda\lambda$ 5007, 4959, [N II] $\lambda\lambda$

6584, 6548 и [S II] $\lambda\lambda$ 6731, 6717. Линии бальмеровской серии от H_α до H_γ видны в эмиссии (у H_β и H_γ наблюдаются абсорбционные компоненты), а H_δ наблюдается полностью в поглощении. Вычисленное по всем отождествленным линиям красное смещение $z = 0.0393 \pm 0.0004$, а абсолютная величина $M_{rg} = -20^{m.2}$.

Отличительной особенностью эмиссионных линий этой галактики является их значительная ширина. Так, после учета ширины линий небесные значения V/W_{MM} колеблются, как видно из данных табл. 3, для различных линий от 480 до 630 км/с со средним значением около 570 км/с.

Спектр галактики №110 четко разделяется на три части, условно обозначенные римскими цифрами I, II, III (см. табл. 2, 3), причем ни одна из них резко не выделяется по яркости, хотя уверенно можно сказать, что часть I является наиболее яркой, а часть II - наиболее слабой из них.

В спектрах всех частей галактики №110 отождествлены эмиссионные линии [O II] λ 3727, H_β , [O III] $\lambda\lambda$ 5007, 4959, H_α и [N II] λ 6584, а в спектре части I - еще и H_γ , H_δ (рис. 1b). Непрерывный спектр у всех частей очень слабый (особенно в красной области), что не позволило определить эквивалентные ширины линий в этой части спектра.

Красное смещение у всех частей галактики практически одинаковое и составляет $z = 0.0546 \pm 0.0005$ ($R = 220$ Мпк и $M_{rg} = -19^{m.5}$).

Механизм возбуждения. Полученные спектрофотометрические данные дают возможность обсудить механизм возбуждения и

Таблица 3

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ

Ион, λ_0	№26 (ядро)		№26		№110						№33	
	паст. раб.	раб.[2]			I		II		III			
	набл.	набл.	набл.	испр.	набл.	испр.	набл.	испр.	набл.	испр.	набл.	испр.
[SII] 6731	0.55	0.45	3.0	1.12	-	-	-	-	-	-	0.39	0.26
[SII] 6717	0.74	0.61	2.9	1.09	-	-	-	-	-	-	0.53	0.35
[NII] 6584	3.0	2.5	0.97	0.39	1.34	0.71	2.30	1.8	1.67	0.83	1.18	0.80
III 6563	6.6	5.3	7.1	2.88	5.37	2.88	3.52	2.88	5.58	2.88	4.2	2.87
[NII] 6548	1.1	0.86	0.39	0.16	-	-	-	-	-	-	0.43	0.29
[O III] 5007	0.58	0.39	1.51	1.34	2.2	2.0	1.43	1.38	1.04	0.95	1.28	1.22
[O III] 4959	0.22	0.14	0.50	0.48	0.87	0.66	0.54	0.51	0.38	0.31	0.44	0.42
III 4861	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
III 4340	0.35	0.39	0.38	0.53	0.34	0.43	-	-	-	-	0.26	0.30
III 4102	0.22	0.14	0.26	0.43	0.22	0.31	-	-	-	-	0.10	0.15
III 3970	0.13	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[Ne III] 3869	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.47	0.62
[O II] 3727	1.76	2.10	1.58	3.56	0.95	1.70	2.72	3.20	0.88	1.58	2.12	2.98
C(II _B)	-	-	1.14	-	0.79	-	0.26	-	0.84	-	0.48	-

ионизации в исследованных объектах. Ядро галактики №26 рассматриваться не будет, т.к. в [2] уже было установлено, что газ здесь ионизируется излучением звезд ранних спектральных классов.

Вопрос о механизме возбуждения и ионизации в остальных объектах можно рассмотреть, используя построенные Болдуином и др. [13] двумерные диаграммы соотношений интенсивностей линий $[O III]\lambda 5007$, $[N II]\lambda 6584/H\alpha$ и $H\beta$, на которых эмиссионные объекты с различными механизмами уверенно разделяются, занимая отдельные области.

На этих диаграммах все изученные нами объекты попадают в область, где излучение в линиях обусловлено фотонионизацией коротковолновым излучением горячих O - B звезд. На это указывает и невысокая степень возбуждения (индекс возбуждения $r = I[O III] / I[O II]$ изменяется от 0.5 у №33 до 2.3 у части I галактики №110), характерная для типичных II II областей.

Большая крупизна наблюдаемого балмеровского декремента в таком случае объясняется наличием в галактиках значительного количества пыли.

Физические характеристики. На основании полученных данных и с учетом теплового характера излучения нами вычислены некоторые физические характеристики галактик: электронная плотность (n_e), электронная температура (T_e), наблюдаемый поток и светимость в линии $H\beta$, эффективный объем и масса излучающего газа, а также число L_e -квантов (N_{L_e}) и обеспечивающее это число количество звезд спектрального класса O7 $N_*(O7)$.

Поскольку наблюдаемый поток от звезды спектрального класса G4 нулевой видимой величины в линии $H\beta$ по Коду [14] равен $3 \cdot 10^9$ эрг/см²с.А, для объекта с видимой величиной m и эквивалентной шириной W_β получаем наблюдаемый поток

$$F_{наб\beta} = 3 \cdot 10^9 \cdot W_{H\beta} \cdot 10^{-\frac{m}{2.5}} \text{ эрг/см}^2\text{с}$$

Светимость в линии $H\beta$ ($L_{H\beta}$) будет равна

$$L_{H\beta} = 4\pi R^2 F_{наб\beta} \text{ эрг/с}$$

С другой стороны, энергию, излучаемую единичным объемом газа в той же линии, согласно [15], можно рассчитать по формуле

$$E_{H\beta} = 22.4 \cdot 10^{-20} \frac{n_e^2 b_4(T_e)}{T_e^{3/2}} \exp(9814/T_e),$$

где $b_4(T_e)$ можно взять из [16].

Эффективный объем ($V_{\text{эфф.}}$) и масса (m) в этом случае

$$V_{\text{эфф.}} = \frac{L_{H\beta}}{E_{H\beta}}; \quad m = V_{\text{эфф.}} \cdot n_e \cdot m_H,$$

где m_H - масса атома водорода.

Имея светимость в линии $H\beta$, можно определить необходимое для ее поддержания число L_e -квантов [17], а затем по [18] - количество звезд O7, обеспечивающих излучение такого числа квантов.

Для вычисления физических характеристик отдельных частей галактики №110 нами произведены оценки видимой яркости частей I и III по имеющимся прямым снимкам, полученным ранее [1] на 2.6-м телескопе Бюраканской обсерватории. Они соответственно равны $16^m.8$ и $17^m.3$.

Все вычисленные физические характеристики приведены в табл.4.

Таблица 4

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИССЛЕДОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ

№ по [1]	n_e (см ⁻³)	T_e	$I_{H\beta}$ (эрг/см ² с)	$L_{H\beta}$ (эрг/с)	$V_{\text{эфф.}}$ (см ³)	m ($m_\odot$)	N_{L_e}	N_* (O7)
26	10 ³	8400	$4.4 \cdot 10^{-15}$	$1.6 \cdot 10^{39}$	$5.7 \cdot 10^{57}$	$4.8 \cdot 10^3$	$3.5 \cdot 10^{51}$	360
33	80	7800	$3 \cdot 10^{-14}$	$9 \cdot 10^{40}$	$4.1 \cdot 10^{61}$	$2.7 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^{53}$	20000
110(I)	-	7700	$7.8 \cdot 10^{-15}$	$4.5 \cdot 10^{40}$	-	-	10^{53}	10000
110(III)	-	6200	$3 \cdot 10^{-15}$	$1.7 \cdot 10^{40}$	-	-	$3.7 \cdot 10^{52}$	39000

4. *Обсуждение.* Проведенное исследование позволяет сделать предположение относительно природы и физических условий в наблюдаемых объектах.

Повторные спектральные наблюдения ядра галактики №26 показали, что в целом существенных изменений в ее спектре не наблюдается.

Значения электронной плотности и температуры, эффективного объема газа, светимости в линии $H\beta$ и других физических характеристик сгущения 1 в галактике №26 в целом схожи с

соответствующими значениями большого числа сверхассоциации в галактиках Маркаряна [12].

Можно с уверенностью предположить, что это сгущение является яркой ($M_{pg} = -16^m.7$) сверхассоциацией в галактике №26. Следует отметить значительное количество пыли в этом сгущении.

Спектрофотометрические данные всех трех частей галактики №110 указывают на наличие значительных масс газа, ионизируемого излучением большого числа горячих звезд ранних спектральных классов. В частях I и III наблюдается довольно крутой балмеровский декремент, что является, по всей вероятности, следствием наличия значительных масс пыли.

Таким образом, можно заключить, что все три части галактики №110 являются газо-пылевыми комплексами с присутствием значительного числа звезд ранних спектральных классов.

Особый интерес представляют результаты спектрофотометрии галактики №33. Остаточные полуширины эмиссионных линий $[O III] \lambda \lambda 5007, 4959 (FWHM)$ составляют у нас 510 - 660 км/с, что намного больше встречающихся часто значений 350 - 400 км/с для галактик типа Sy 2 [20].

Однако по интенсивностям тех же линий №33 уступает галактикам Sy2, хотя и среди последних (например, Марк 423, 622 и 955 [21]) встречаются значения, близкие к таковым у №33.

По полуширинам и интенсивностям линий, отношениям $I [O II] \lambda 3727 / I [O III] \lambda 5007$ и $I [N I] \lambda 6584 / I_{H\beta}$, а также по светимости в линии $H\beta$ объект №33 очень похож на лайперы [22]. Однако в спектре №33 не наблюдается линия $[O I] \lambda 6300$, которая является одной из важных характеристик лайперов. Из вышесказанного следует, что по физическим характеристикам №33 находится между галактикой типа Sy2 и лайпером.

Важно отметить еще одну особенность. Каждая из линий $H\beta$ и $H\gamma$ состоит из двух компонентов - эмиссионного и абсорбционного, причем абсорбционные наблюдаются в длинноволновой части линии. Впервые такое же расположение компонентов отмеченных линий наблюдалось у галактики №214 из второго списка М.А.Казаряна [23].

В целом дальнейшее исследование галактики №33, несомненно, представляет большой интерес.

Ереванский Государственный университет

SPECTRAL INVESTIGATION OF THREE
GALAXIES WITH UV-EXCESS

M.A.KAZARIAN, V.S.TAMAZIAN

Spectral investigation of the nucleus and one condensation in the galaxy No.26 as well as the galaxies No. 33 and 110 from Kazarian's first list [1] is carried out. Relative intensities and equivalent widths of emission lines, effective volume and mass of radiating gas, luminosity in $\Pi\beta$ and other characteristics are calculated for all objects.

The condensation in the galaxy No.26 and three parts of irregular galaxy No.110 are giant II II - regions. Emission lines in the galaxy No.33 has full width at half maximum of the order of 500 - 600 km/s. The absence of [O I] λ 6300 emission lines and other spectral data show that this galaxy could be considered as one between types of Sy 2 and the Liner.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.А.Казарян, Астрофизика, 15, 5, 1979.
2. М.А.Казарян, В.С.Тамазян, Астрофизика, 18, 192, 1982.
3. В.С.Тамазян, Сообщ. Бюракан. обсерв., 58, 78, 1986
4. J.M.Shuder, Astrophys. J., 244, 12, 1981.
5. М.А.Казарян, Э.С.Казарян, Астрофизика, 26, 5, 1987.
6. М.А.Казарян, Астрофизика, 27, 399, 1987.
7. R.P.S. Stone, Astrophys. J., 219, 767, 1977.
8. A.E.Whitford, Astron. J., 63, 201, 1958.
9. M.Brocklehurst, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 153, 471, 1971.
10. P.A.Shaver, R.X.McGee, J.M.Newton, A.C.Danks, S.R.Pottush, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 204, 53, 1983.
11. Н.В.Посов, Астроф. циркуляр, №1050, 1979.
12. А.Н.Буренков, Канд. диссертация, П.Архыз, 1990.
13. J.A.Baldwin, M.M.Philips, R.Terlevich, Publ. Astron. Soc. Pacif., 93, 5, 1981.
14. А.И.Код, Звездные атмосферы, ИЛ, М., 1967, стр. 67.
15. D.Menzel, Astrophys. J., 85, 330, 1937.
16. А.А.Боярчук, Р.Е.Гершберг, Н.В.Голышников, Изв. Крымской обсерв. 38, 208, 1967.

17. *S.R.Pottash*, *Vistas Astron.*, 6, 149, 1965.
18. *P.G.Mezger, L.F.Smith, E.Churchwell*, *Astron. Astrophys.* 32, 269, 1974.
19. *В.М.Лютый, А.М.Черепанук*, *Астрофиз. циркуляр*, №633, 1971.
20. *D.E.Osterbrock, W.E.Matthews*, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 24, 171, 1986.
21. *В.Л.Афанасьев, В.А.Липовецкий, Б.Е.Мяккарян, Дж.А.Степанян*, *Астрофизика*, 16, 193, 1980.
22. *T.Heckman*, *Astron. Astrophys.*, 87, 152, 1980.
23. *М.А.Казарян*, *Астрофизика*, (в печати).