

# АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

## АСТРОФИЗИКА

ТОМ 17

ФЕВРАЛЬ, 1981

ВЫПУСК 1

УДК 524.7

### ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ЯДРАХ ГАЛАКТИК С ЭМИССИОННЫМИ ЛИНИЯМИ

Г. Т. ПЕТРОВ, И. М. ЯНКУЛОВА, В. К. ГОЛЕВ

Поступила 10 апреля 1980

Принята к печати 25 сентября 1980

По спектрам, полученным на 6-м телескопе САО АН СССР, проведено спектрофотометрическое исследование шести галактик с эмиссионными линиями, не относящихся к сейфертовскому типу. Оценены электронные плотности,  $n_e \sim 10^3 \text{ см}^{-3}$ , и электронные температуры,  $T_e \sim 10^4 - 1.4 \cdot 10^4 \text{ К}$ , излучающего газа. Приведены потоки,  $F_{\text{H}\beta} \sim 10^{-13} - 10^{-14} \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , и светимости,  $L_{\text{H}\beta} \sim 10^{35} - 10^{40} \text{ эрг с}^{-1}$ , в линии  $\text{H}\beta$ . Эффективный объем, занимаемый газом,  $\sim 10^{56} - 10^{58} \text{ см}^3$ , а масса газа  $\sim 10^3 - 10^4 M_\odot$ . Число звезд O5 V, необходимое для ионизации газа, порядка нескольких сот, и это говорит о том, что наиболее вероятным источником ионизации является ультрафиолетовое излучение горячих звезд в этих галактиках.

1. *Введение.* Детальному спектрофотометрическому исследованию объектов сейфертовского типа и других крайне пекулярных галактик посвящено довольно много работ. Менее пекулярные объекты спектрофотометрически исследованы в гораздо меньшей степени. Так, Кохен [1] исследовала эмиссию  $\text{H}\beta$  в дисках 53 спиральных галактик, а Хухра [2] приводит эквивалентные ширины  $\text{H}\beta$  и отношения  $I_{\lambda 5007}/I_{\text{H}\beta}$  для большого числа галактик Маркаряна. В работе [3] спектрофотометрически исследованы ядра 49 галактик несейфертовского типа — в том числе 27 галактик Маркаряна и 12 галактик Аракеляна.

В настоящем сообщении приводятся результаты спектрофотометрического исследования и определения физических условий ядер шести галактик с узкими эмиссионными линиями. Исследованные объекты за исключением NGC 7463 являются линзовидными галактиками — тип S0 или SB0. NGC 7465, 7648 и 7679 являются галактиками Маркаряна, а NGC 5929 и 7625 включены в списки компактных галактик Цвикки.

2. *Наблюдательный материал и результаты обработки.* В сентябре 1978 г. на 6-м телескопе САО АН СССР была проведена серия спектральных наблюдений шести близких галактик. С короткими экспозициями получены спектры галактик в синих и красных лучах (спектральные области соответственно  $\lambda$  4000—6000 А и  $\lambda$  5800—7500 А). Использован спектрограф UAGS с трехкаскадным электронно-оптическим преобразователем УМ-92, установленный в прямом фокусе. Дисперсия всех спектрограмм 100 А мм<sup>-1</sup>.

В табл. 1 приведены данные об исследованных галактиках. В соответствующих столбцах таблицы даны: 1) номер объекта по NGC; 2) координаты на эпоху 1950.0 [4]; 3) хаббловский тип согласно Нильсону [5]; 4) видимая фотографическая звездная величина галактики  $m_p$  [5].

Таблица 1

## ДАННЫЕ ОБ ИССЛЕДОВАННЫХ ГАЛАКТИКАХ

Номер по NGC	Координаты 1950.0		Тип по Хабблу	$m_p$	$z$	$M_p$	Примечания
	$\alpha$	$\delta$					
5929	15 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup> 18 <sup>s</sup> .3	41° 50' 43"	E/S0	13 <sup>m</sup> .0	0.009	-19 <sup>m</sup> .8	1
7463	22 59 22.7	15 42 17	SB	13.5	0.009	-20.3	—
7465	22 59 31.8	15 41 50	SB0	13.3	0.008	-19.2	2
7625	23 18 00.6	16 57 15	S0	12.8	0.006	-19.2	3
7648	23 21 22.2	09 23 37	S0	13.5	0.014	-20.2	4
7679	23 26 12.8	03 14 11	S0	13.2	0.018	-21.2	5

Примечания к таблице 1.

1. I Zw 112. Двойная галактика в паре с NGC 5930. Масса всей пары, согласно Пейджу [22],  $12.5 \cdot 10^9 M_{\odot}$ .

2. Марк. 313.

3. III Zw 103. Спектральный тип G 1 [23], масса  $8.0 \cdot 10^9 M_{\odot}$  в 3.5 кпс и  $16.0 \cdot 10^9 M_{\odot}$  в 7.0 кпс [24].

4. Марк. 531.

5. Марк. 534. Спектральный тип F 5 по Хьюмасону и др. [23]. Спектры этой галактики передержаны. Пеймберт и Спинрад [20] наблюдали эту галактику со сканером с круглой диафрагмой 7" и получили

$$\frac{I_{\text{H}\alpha} \lambda 5876}{I_{\text{H}\beta}} = 0.11, \quad \frac{I_{\lambda 5007}}{I_{\text{H}\beta}} = 1.10, \quad \frac{I_{\lambda 6583}}{I_{\text{H}\beta}} = 1.35,$$

$F_{\text{H}\beta} = 1.69 \cdot 10^{-13}$  эрг см<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>. Величины исправлены за покраснение с фактором  $C_3 = 0.27$ .

5) красное смещение  $z$  согласно Гислеру [6]; 6) абсолютная фотографическая звездная величина  $M_p$ , вычисленная при  $H = 75 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпс}^{-1}$ , и 7) примечания.

Репродукции спектров в синих и красных лучах соответственно приведены на рис. 1. Отметим, что запрещенные линии [O III]  $\lambda$  4959, 5007 обнаружены только в спектрах галактик NGC 5929 и 7679, а линия He I  $\lambda$  5876 — только в спектре NGC 7679.

Таблица 2а

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ  $I_\lambda/I_{H\beta}$   
ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ  $W_{H\beta}$

Номер по NGC	H $\beta$ $\lambda$ 4861	H $\alpha$ $\lambda$ 6562	[NII] $\lambda$ 6583	[NII] $\lambda$ 6548	[SII] $\lambda$ 6731	[SII] $\lambda$ 6717	[OIII] $\lambda$ 4959	[OIII] $\lambda$ 5007	$W_{H\beta}$ (A)
5929	1.0	5.45	3.75	1.95	2.66	3.47	1.59	3.64	5.98
7463	1.0	3.45	0.84	0.72	1.49	0.88	—	—	6.80
7465	1.0	5.48	2.52	1.79	1.56	2.11	—	—	2.64
7625	1.0	4.48	2.59	0.65	0.56	0.58	—	—	3.71
7648	1.0	2.72	1.30	0.79	0.65	0.55	—	—	0.83
7679*	1.0	4.76	4.78	1.38	2.57	2.68	0.51	1.48	4.68

\* Так как спектры NGC 7679 передержаны, эквивалентная ширина и относительные интенсивности для нее определены менее надежно. В красном спектре обнаружена линия He I  $\lambda$ 5876 с интенсивностью  $I_{He I} \sim 0.1 I_{H\beta}$ .

В табл. 2а приведены относительные интенсивности эмиссионных линий в единицах интенсивности H $\beta$ , а также эквивалентные ширины H $\beta$ .

Поправка за покраснение вводилась по формуле [7]

$$\lg I_\lambda^0 = \lg I_\lambda^{набл} + C_\beta \cdot f(\lambda). \quad (1)$$

Величина  $C_\beta$  определялась по бальмеровскому декременту. Согласно [8], отношение  $I_{H\alpha}^0/I_{H\beta}^0$  принималось равным 2.88. Был использован закон межзвездного поглощения Уитфорда, табулированный в [9]. Исправленные таким образом относительные интенсивности эмиссионных линий приведены в табл. 2б. В последнем столбце таблицы даны значения фактора  $C_\beta$ .

3. *Определение физических условий излучающего газа.* Физические параметры излучающего газа можно оценить по относительным интенсивностям эмиссионных линий. Остерброк [10] приводит зависимость, свя-

зывающую отношение интенсивностей линий дублета [S II]  $\lambda\lambda$  6717 + 31 с величинами  $X = n_e(10^4/T_e)^{1/2}$  см<sup>-3</sup>. Во втором столбце табл. 3 приведены эти величины для исследованных нами галактик.

Таблица 26

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ  $I_{\lambda}^0/I_{H\beta}^0$ ,  
ИСПРАВЛЕННЫЕ ЗА ПОКРАСНЕНИЕ, И ЗНАЧЕНИЯ ФАКТОРА ПОКРАСНЕНИЯ

Номер по NGC	H $\beta$ $\lambda$ 4861	H $\alpha$ $\lambda$ 6562	[NII] $\lambda$ 6583	[NII] $\lambda$ 6548	[SII] $\lambda$ 6731	[SII] $\lambda$ 6717	[OIII] $\lambda$ 4959	[OIII] $\lambda$ 5007	C $\beta$
5929	1.0	2.88	2.02	1.07	1.41	1.80	1.50	3.32	0.79
7463	1.0	2.88	0.70	0.60	1.23	0.72	—	—	0.24
7465	1.0	2.88	1.38	1.00	0.84	1.12	—	—	0.79
7625	1.0	2.88	1.69	0.43	0.36	0.37	—	—	0.56
7648*	1.0	2.72	1.30	0.79	0.65	0.55	—	—	0.0
7679	1.0	2.88	2.92	0.86	1.53	1.57	0.48	1.36	0.61

\* Галактика NGC 7648 не показывает покраснения.

Бэрбидж и др. [11] приводят зависимость отношения  $f \cdot I_{H\beta} / I_{NII\lambda\lambda 6548+84}$  от  $T_e$ , где  $f$  — степень ионизации азота. Следуя [12], можно принять  $f = 0.4$ ; полученные таким образом значения  $T_e$  приведены в третьем столбце табл. 3. При известных  $X$  и  $T_e$  электронные плотности исследуемых галактик могут быть вычислены по формуле  $n_e = X(10^4/T_e)^{-1/2}$ : они приведены в четвертом столбце табл. 3. Значения  $n_e$  отличаются менее чем на 15% от плотностей, полученных при  $T_e = 10^4$  К. Определение последних, кроме температуры, не требует никаких других дополнительных предположений. Поэтому для нахождения физических условий использовались значения  $n_e$  при  $T_e = 10^4$  К.

Изображение линии [S II]  $\lambda$  6731 на спектре NGC 7463 искажено зерном. Оценку  $n_e$  для этой галактики мы произвели методом пересечения кривых  $\lg \theta(n_e, T_e)$  для линий [N II]  $\lambda\lambda$  6548+84 и [S II]  $\lambda\lambda$  6717+31 [13, 14] и получили  $n_e \approx 10^3$  см<sup>-3</sup> и  $T_e \approx 7100$  К. Отметим, что эти оценки не очень надежны.

4. *Физические характеристики галактик.* Звездные величины ядерных областей исследованных нами галактик до сих пор не определялись. Методом наименьших квадратов мы построили зависимость, связывающую звездную величину ядерной области со звездной величиной самой галак-

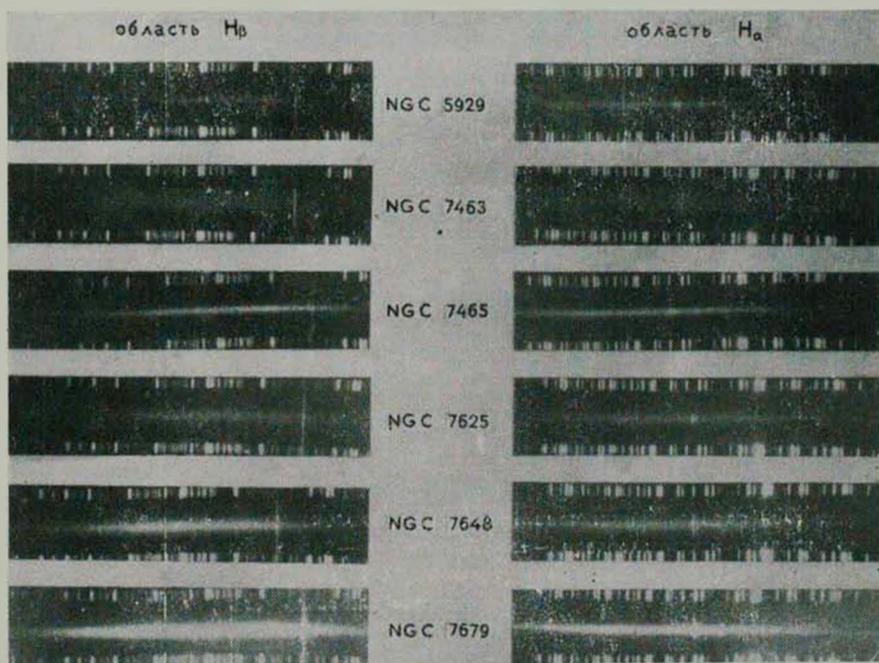


Рис. 1 Репродукции спектров галактик. Сверху вниз: NGC 5929, 7463, 7465, 7625, 7648 и 7679. Слева область  $H_{\beta}$ , справа — область  $H_{\alpha}$ . Оригинальная дисперсия  $\sim 100 \text{ \AA mm}^{-1}$ . Разрешающая способность около  $5 \text{ \AA}$ .

К ст. Г. Т. Петров и др.

тики (использованы данные для галактик S0, приведенные в [15]). Зависимость оказалась вида

$$m_{\text{я.обл}} = 1.26 m_{\text{г.вал}} - 1.50. \quad (2)$$

Коэффициент корреляции равен 0.86.

Таблица 3

ЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ,  
ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЕЛИЧИНЫ  $X = n_e (10^4 / T_e)^{1/2}$ ,  
ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ

Номер по NGC	$X = 10^2 \frac{n_e}{T_e}$	$T_e$ , К	$n_e$ , см <sup>-3</sup>
5929	400	12500	445
7463*		8000	
7465	180	11000	188
7625	1120	10800	1170
7648	2040	10800	2122
7679	1150	14000	1360

\* Ввиду того, что в спектре NGC 7463 изображение линии [S II]  $\lambda$  6731 искажено зерном, получение оценки  $X$  по [10] невозможно. Метод, описанный в [13, 14], дает  $n_e \sim 10^3 \text{ см}^{-3}$  и  $T_e \sim 7100$  К, однако эти оценки не очень надежны.

Зная эквивалентную ширину линии  $H_{\beta}$ , расстояние галактики и звездную величину ядерной области, можно определить наблюдаемый поток на границе земной атмосферы  $F_{H_{\beta}}^{\text{набл}}$  и светимость  $L_{H_{\beta}}$  в линии  $H_{\beta}$  каждой галактики.

Значения электронной плотности  $n_e$  и температуры  $T_e$  дают возможность вычислить объемный коэффициент излучения газа в линии  $H_{\beta}$  в ядерных областях галактики:

$$4\pi j_{H_{\beta}} = h\nu_{H_{\beta}} \alpha_{42}^{\text{эф}}(T_e) n_e n_p \text{ эрг см}^{-3} \text{ с}^{-1}, \quad (3)$$

где

$$\alpha_{42}^{\text{эф}}(T_e) = 4.19 \cdot 10^{-16} 4^2 \frac{b_{42} e^{x_{42}/kT}}{T^{3/2}} A_{42} \text{ см}^3 \text{ с}^{-1},$$

а  $A_{42} = 8.37 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ .

Далее вычислены эффективные объемы, занимаемые газом, и массы газа. Отметим, что эффективные радиусы излучающих областей находятся в пределах 3—10 пс, что свидетельствует об очень малом факторе скважности.

Мощность излучения, необходимая для поддержания газа в ионизационно-рекомбинационном равновесии, может быть вычислена по суммарной интенсивности эмиссионных линий:

$$P = 11.2 \frac{L_{H\beta}}{h\nu_{H\beta}} (\bar{\varepsilon} + 2.18 \cdot 10^{-11}) \text{ эрг с}^{-1}, \quad (4)$$

где  $\bar{\varepsilon}$  — средняя энергия свободных электронов, полученная при ионизации. Энергию  $\bar{\varepsilon}$  можно определить по графику, приведенному в [16].

Светимость звезды спектрального класса O5 V равна  $1.92 \cdot 10^{39}$  эрг с<sup>-1</sup>. С этой величиной можно оценить количество O-звезд, необходимое для поддержания наблюдаемых интенсивностей эмиссионных линий [17]. Полученные значения и тот факт, что эти объекты не относятся к сильным радиоисточникам [18], приводят к выводу, что наиболее вероятным механизмом нагрева газа в этих галактиках является тепловое ультрафиолетовое излучение горячих звезд и для объяснения наблюдаемых эмиссионных спектров нет необходимости привлекать механизмы другой природы.

Таблица

## ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЛАКТИК

Объект	$m_{я. обл.}$	$10^{14} \times F_{H\beta}^{набл.}$ эрг см <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup>	$10^{39} \times L_{H\beta}$ эрг с <sup>-1</sup>	$10^{19} \times 4\pi R^2$ эрг см <sup>-3</sup> с <sup>-1</sup>	$10^{-58} \times V_{эфф.}$ см <sup>3</sup>	$M_{газ}$ в масс. сах Солнца	$10^{-41} P$ эрг с <sup>-1</sup>	Число звезд O5 V
NGC 5929	14.9	2.49	3.87	19.8	19.5	6500	2.82	640
NGC 7463	15.5	1.63	2.53	1.75	1.44	1420	1.67	380
NGC 7465	15.3	0.76	0.93	4.00	23.2	3470	0.63	140
NGC 7625	14.6	2.03	1.40	1.55	0.90	840	0.92	210
NGC 7648	15.5	0.20	0.75	0.05	0.15	250	0.50	110
NGC 7679	15.1	1.62	10.0	1.64	6.14	5860	6.86	1560
NGC 1068	12-13	70.0	—	27.0	80	$2 \cdot 10^5$	14.0	$3 \cdot 10^3 - 10^4$
Марк. 79	14-15	—	17J	—	0.02	$5 \cdot 10^4$	140.0	$3 \cdot 10^3$

В табл. 4 последовательно приведены звездные величины  $m_{я. обл.}$  ядерных областей галактик, полученные по формуле (2); наблюдаемый

поток  $F_{H\beta}^{набл}$  в линии  $H\beta$ ; светимость  $L_{H\beta}$ ; объемный коэффициент  $4\pi j_{H\beta}$  в  $H\beta$ ; эффективный объем  $V_{эфф}$ , занимаемый газом; масса газа  $M$  в единицах масс Солнца; мощность источника ионизации  $P$ , необходимая для поддержания газа в ионизационно-рекомбинационном равновесии, и соответствующее этой мощности число звезд O5 V.

Для сравнения приводятся аналогичные данные для галактики NGC 1068 (сейфертовская — тип 2) согласно [17] и для Марк. 79 (сейфертовская — тип 1) согласно [19].

Оценим на примере физических параметров галактики NGC 5929 насколько будут меняться физические условия при изменении  $T_e$  и  $n_e$ . Для  $7500 \text{ K} < T_e < 12500 \text{ K}$  величина электронной плотности, определяемая методом Остерброка [10], меняется менее чем на  $\pm 15\%$ , а все физические параметры варьируют незначительно — в среднем на  $1-5\%$ . Таким образом, принимая  $T_e = 10^4 \text{ K}$  и оценивая физические условия без каких-либо других допущений, можно считать внутреннюю точность применяемого метода вполне удовлетворительной.

5. *Заключение.* Для исследованных галактик по относительным интенсивностям запрещенных линий [S II]  $\lambda\lambda 6717/31$ , принимая  $T_e = 10^4 \text{ K}$ , определены  $n_e \sim 2 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ . Следуя [11] по отношению  $I_{H\alpha}/I_{[N II] \lambda\lambda 6548+84}$  определены электронные температуры  $T_e \sim 10^4 - 1.4 \cdot 10^4 \text{ K}$ .

Для  $T_e = 10^4 \text{ K}$  определены физические условия в ядерных областях исследуемых галактик. Эффективные объемы, занимаемые излучающим газом,  $\sim 10^{56} - 10^{58} \text{ см}^3$ , а соответствующие массы газа  $\sim 10^3 - 10^4 M_\odot$ . Эти величины сравнимы с аналогичными характеристиками для ядра галактики Маркарян 79.

Необходимая для поддержания газа в ионизационно-рекомбинационном равновесии мощность излучения составляет  $\sim 5 \cdot 10^{40} - 5 \cdot 10^{41} \text{ эрг с}^{-1}$ , что на  $1-2$  порядка ниже, чем в сейфертовских галактиках. Соответствующее число O-звезд, которые давали бы такое поле излучения, лежит в интервале от нескольких сотен до  $\sim 1500$ . Если принять, следуя [17], что одна звезда класса O5 V приходится на  $10^7$  звезд более поздних спектральных классов, то в ядрах исследуемых галактик заключена масса  $\sim 5 \cdot 10^9 - 10^{10} M_\odot$ , что согласуется с имеющимися оценками масс галактик NGC 5929 и 7625 (см. примечания к табл. 1). Таким образом, можно заключить, что газ в ядерных областях этих галактик ионизируется ультрафиолетовым излучением горячих звезд.

Оценка изменения физических условий в интервале  $T_e = 10^4 \pm 2.5 \cdot 10^3 \text{ K}$  показала, что параметры меняются слабо и выводы остаются в силе для температур, полученных по способу Бэрбиджа и др. [11].

Наконец отметим, что галактика NGC 7679 наблюдалась раньше Пеймбертом и Спирадодом [20] со сканером Вамплера с круглой диафрагмой диаметром 7". центрированной на ядро галактики (полученные ими результаты приведены в табл. 1). Наши спектры получены со щелью (3.5) высотой  $\sim 5'$ . Сравнение результатов показывает, что  $I_{1500}/I_{H\beta}$  и  $I_{45876}/I_{H\beta}$  находятся в хорошем согласии, а  $I_{6583}/I_{H\beta}$  заметно различаются. Вероятно, это объясняется изменением интенсивности линии азота по диску галактики. Такое изменение может быть вызвано повышенным содержанием азота в ядре этой галактики. На повышенное содержание азота в ядрах некоторых близких галактик обращалось внимание и раньше (см., например, работу Пеймберта [21]). Имея в виду различие методов получения потока в  $H\beta$ , можно считать, что измеренный нами поток находится в удовлетворительном согласии с потоком, приведенным в [20].

Авторы благодарны В. Л. Афанасьеву и В. А. Липовецкому за получение наблюдательного материала.

Кафедра астрономии  
Софийского университета

Секция астрономии  
Болгарской Академии наук

## PHYSICAL CONDITIONS IN THE NUCLEI OF THE EMISSION — LINE GALAXIES

G. T. PETROV, I. M. YANKULOVA, V. K. GOLEV

A spectrophotometric investigation of 6 galaxies with emission lines, not belonging to the Seyfert type has been carried out after spectra, obtained with the 6-m telescope of SAO. The electron densities  $n_e \sim 10^3 \text{ cm}^{-3}$  and the electron temperatures  $T_e \sim 10^1 - 1.4 \cdot 10^1 \text{ K}$  of the emitted gas are estimated. The  $F_{H\beta} \sim 10^{13} - 10^{14} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  fluxes and the  $L_{H\beta} \sim 10^{36} - 10^{40} \text{ erg s}^{-1}$  luminosities in the  $H\beta$ —lines are given. The effective volume occupied by the emitting gas is  $10^{56} - 10^{58} \text{ cm}^3$  and the mass of the gas is  $(10^3 - 10^4) M_{\odot}$ . The number of the O5V stars which are necessary for gas ionisation is of the order of several hundreds which means that the most probable source of ionisation is the UV-emission of the hot stars in these galaxies.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *J. Cohen*, *Ap. J.*, 203, 587, 1976.
2. *J. P. Huhra*, *Ap. J., Suppl. ser.*, 35, 171, 1977.
3. *Г. Т. Петров*, *Письма АЖ*, 5, 267, 1979.
4. *L. L. Dressel, J. J. Condon*, *Ap. J., Suppl. ser.*, 31, 187, 1976.
5. *P. Nilson*, *Uppsala General Catalogue of Galaxies*, 1973.
6. *G. Gisler*, preprint, 1975.
7. *В. П. Архипова*, *Сообщ. ГАИШ*, 166, 31, 1970.
8. *M. Brocklehurst*, *M. N.*, 153, 471, 1971.
9. *M. Peimbert, S. Torres-Peimbert*, *Ap. J.*, 203, 581, 1976.
10. *D. E. Osterbrock*, *Astrophysics of Gaseous Nebulae*, Freeman & Co, San Francisco, 1974.
11. *G. R. Burbidge, R. G. Gould, S. R. Pottasch*, *Ap. J.*, 138, 945, 1963.
12. *И. М. Янкулова*, *Астрон. ж.*, 51, 1208, 1974.
13. *А. А. Боярчук, Р. Е. Гершберг, Н. И. Годовников, В. И. Проник*, *Изв. Крымской обс.*, 39, 147, 1969.
14. *В. В. Головатый, О. Н. Жуков*, *Пробл. косм. физ.*, 9, 162, 1974.
15. *Сообщ. Бюраканской обс.*, 47, 43, 1975.
16. *В. И. Проник*, *Вопросы космогонии*, 8, 191, 1962.
17. *Э. А. Дибай, В. И. Проник*, *Астрофизика*, 1, 78, 1965.
18. *G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H. G. Corwin*, *Second Reference Catalogue of Bright Galaxies*, Austin, 1976.
19. *И. М. Янкулова, Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов*, *Астрон. ж.*, 51, 464, 1974.
20. *M. Peimbert, H. Spinrad*, *Ap. J.*, 159, 809, 1970.
21. *M. Peimbert*, *Ap. J.*, 154, 33, 1968.
22. *T. Page*, *Ap. J.*, 159, 799, 1970.
23. *M. L. Humason, N. U. Mayall, A. R. Sandage*, *A. J.*, 61, 97, 1956.
24. *M. H. Demoulin*, *Ap. J.*, 157, 69, 1969.