

## Результаты спектрофотометрического исследования некоторых галактик Аракеляна\*

*В. Голев, З. Цветанов, Г. Петров*

Недавно, во время работы по наблюдательной проверке корреляции между активностью галактических ядер и средней поверхностной яркостью галактик, Аракелян (1975) выделил в отдельную группу галактики с высокой поверхностной яркостью (т. наз. галактики Аракеляна). Эти галактики выбраны среди  $\sim 15\,000$  объектов, для которых в КГСГ приводятся величины  $m_{pg}$ , а в МКГ — наибольший и наименьший внешние размеры  $a$  и  $b$ . Рассмотрена зона с  $\delta \gtrsim -3^\circ$  общей площадью  $\sim 4,5$  sterad (около 15 000 квадратных градусов), из которой исключена область около галактического экватора с  $|b''| < 20^\circ$ . Для каждой галактики определялась средняя поверхностная яркость

$$(1) \quad B = m_{pg} - 0,25 \operatorname{cosec} \|b''\| + 2,5 \lg \left( \frac{\pi}{4} ab \right) \operatorname{mag. arcsec}^{-2}.$$

Для учета влияния видимого наклона галактик и для приблизительного приведения  $B$  к поверхностной яркости  $H$  в общепринятой системе Холмберга использованы данные о 100 хорошо исследованных галактик и методом наименьших квадратов получена связь

$$(2) \quad H - B = 0,22(a/b) + 0,73.$$

Используя величину

$$(3) \quad \tilde{B} = B + 0,22(a/b) + 0,73,$$

Аракелян получает систему величин поверхностной яркости, близкой в среднем к системе Холмберга. При этом

$$(4) \quad \tilde{B} = 1,01 H - 0,30 \operatorname{mag. arcsec}^{-2}.$$

По Аракеляну галактиками с высокой поверхностной яркостью являются объекты, для которых  $\tilde{B} \leq 22,0 \operatorname{mag. arcsec}^{-2}$ . Среди рассмотренных 15 000 объектов этим критерием удовлетворяют 621 галактика ( $\sim 4\%$ ), выделенные Аракеляном в отдельный список.

\* В этой статье используются принятые в астрофизике единицы ангстрем и erg;  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$ ,  $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ Дж}$ .

Поверхностная яркость не зависит от расстояния, и поэтому галактики Аракеляна являются очень удобной для исследования группой. Детально изучаются аракелянские галактики сейфертовского типа (см., например, Остерброк, Филлипс, 1977; Цветанов, 1981, и др.). Лучевые скорости известны приблизительно для 50% из них, главным образом по работам Аракеляна и др. (1975а, в; 1976а, в) и Дорошенко, Теребижа (1976), а величины  $UBV$  — для около 50 объектов (Романов, 1980; Дибай и др., 1981). В последние годы галактики Аракеляна систематически наблюдаются в радиодиапазоне (см. Малумян, 1980; Коджоян и др., 1980). Для целей наблюдений в инфракрасной области и в радиодиапазоне Коджоян и др. (1981) определили точные оптические положения аракелянских галактик с ошибкой  $\pm 1,5$  arcsec.

Вероятно, около 90% галактик с высокой поверхностной яркостью показывают эмиссионные линии в своих спектрах (Липовецкий, В. А., частное сообщение). Таким образом, наблюдается корреляция между поверхностной яркостью галактик и наличием эмиссионных линий в их спектрах. На этот факт обратил внимание еще Аракелян (1975), рассматривая процент галактик с высокой поверхностной яркостью среди известных до тех пор галактик Маркаряна, который составляет 17%, т. е.  $\sim 4$  раза больше аналогичного для галактик всех типов. В настоящий момент число галактик, входящих одновременно в списки Маркаряна и в список Аракеляна, равно 73 (Коджоян и др., 1981) или 12% всех аракелянских галактик. Морфологически эти галактики исследованы слабо; считается, что  $\sim 50\%$  относятся к типам E и SO, а остальные — к типу Sa (Коджоян и др., 1981).

Спектрофотометрически галактики с высокой поверхностной яркостью также исследованы недостаточно. Практически это сделано только для отдельных представителей группы.

В настоящей работе представлено спектрофотометрическое исследование 22 галактик из списка Аракеляна. Рассмотрены некоторые интегральные свойства этих объектов с тем, чтобы более определенным образом выяснить их место среди активных галактик. Использованы 63 спектрограммы, полученные, в основном, В. Т. Дорошенко и В. Ю. Теребижем на 1,25-м телескопе ЗТЭ Южной станции ГАИШ с дисперсией  $\sim 230 \text{ \AA mm}^{-1}$  (некоторые имеют дисперсию  $\sim 100 \text{ \AA mm}^{-1}$ ), 4 спектрограммы на 2,6-м телескопе ЗТШ КраО АН СССР с дисперсией  $\sim 100 \text{ \AA mm}^{-1}$ , и две спектрограммы с той же дисперсией на 6-м телескопе БТА САО АН СССР. Использованы также данные Остерброка, Филлипса (1977) для некоторых аракелянских галактик сейфертовского типа.

Для определения физических параметров излучающего газа в ядрах галактик достаточно знать поток излучения в эмиссионных линиях, который связан с эквивалентной шириной  $W(\lambda)$  соответствующей линии и с видимой звездной величиной ядра  $m_n$ . Обычно определяют наблюдаемый на границе земной атмосферы поток  $F(H\beta)$  в линии  $H\beta$ . Тогда

$$(5) \quad F(H\beta) = 10^{0,4(m_{st} - m_n)} F_{st}(H\beta) W(H\beta) \text{ erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1},$$

где  $F_{st}(H\beta)$  — наблюдаемый внеатмосферный поток стандартной звезды величины  $m_{st}$  в полосе  $1 \text{ \AA}$ , исправленный за красное смещение объекта.

Из абсолютной калибровки спектра  $\alpha$  Луг Оука, Шилда (1970), следует, что звезда класса AO с  $V = 0^m,00$  создает на границе атмосферы следующие потоки в эффективных длинах волны фильтров B и V:

$$(6) \quad \begin{aligned} F_{st}(4400) &= 6,33 \cdot 10^{-9}, \\ F_{st}(5480) &= 3,64 \cdot 10^{-9} \text{ erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{\AA}^{-1}. \end{aligned}$$

Величины  $m_{st}$  и  $m_n$  должны быть в одной фотометрической системе. Обычно когда известны интегральные величины  $m_{tot}$  галактик,  $m_n$  определяется с помощью корреляционных зависимостей между  $m_n$  и  $m_{tot}$  типа приведенных Петровым (1980).

Относительные интенсивности  $I(\lambda)/I(H_\beta)$  эмиссионных линий определяются по формуле

$$(7) \quad \lg I(\lambda)/I(H_\beta) = \lg F(\lambda)/F(H_\beta) + C(H_\beta) \cdot f(\lambda),$$

где  $C(H_\beta)$  — логарифмическая поправка за покраснение в  $H_\beta$ , определяемая отношением наблюдаемого бальмеровского декремента к теоретическому

$$(8) \quad C(H_\beta) = \lg \left[ \frac{I(H_\alpha)}{I(H_\beta)} \right]_{obs} / \lg \left[ \frac{I(H_\alpha)}{I(H_\beta)} \right]_{theor}.$$

Функция покраснения  $f(\lambda)$  представляет нормальный закон дифференциальной экстинкции Уитфорда, ее можно найти табулированной в работе Пеймберта, Торрес-Пеймберт (1976). По определению  $f(H_\beta) = 0$ .

Зная расстояние до объекта, можно определить его светимость в  $H_\beta$  (Остерброк, Миллер, 1975)

$$(9) \quad L(H_\beta) = \frac{4\pi c^2 z^2}{H^2} (1+z)^2 \cdot F(H_\beta) = 1,907 \cdot 10^{57} \cdot z^2 (1+z)^2 \cdot F(H_\beta) \cdot (75/H) \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Далее нами принято  $H = 75 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ .

В спектрах исследованных здесь галактик Аракеляна, за исключением объектов  $Sy$ -типа, доплеровские ширины разрешенных и запрещенных эмиссионных линий приблизительно равны (порядка нескольких сотен  $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Поэтому можно считать, что все линии возникают в одной и той же пространственной зоне. Значения электронной плотности  $n_e$  и электронной температуры  $T_e$  в этой зоне можно получить из относительных интенсивностей запрещенных линий. Используется метод пересечения кривых равных отношений интенсивностей авроральных и небулярных переходов, разработанный Ситоном и подробно рассмотренный в работе Боярчука и др. (1969). Чтобы определить однозначно  $n_e$  и  $T_e$ , нужно наблюдать линии ионов с близкими потенциалами ионизации, например,  $O^{++}$ ,  $N^{++}$  или  $O^+$ ,  $S^+$ ,  $N^+$ , что далеко не всегда возможно. В случаях, когда не наблюдаются все необходимые линии, приходится делать предположения либо о химическом составе излучающего газа, либо о его  $T_e$ . Поскольку наши спектры бедны запрещенными линиями высокого возбуждения, можно воспользоваться зависимостью, связывающей отношения интенсивностей дублета  $[SII] \lambda\lambda 6717,31$  с величинами  $x = 10^{-2} n_e / T^{1/2} \text{ cm}^{-3}$  (Остерброк, 1979)

$$(10) \quad I(\lambda 6717)/I(\lambda 6731) = 1,5 \frac{1+1,38x}{1+5,29x}.$$

Остерброк (1974) привел эту зависимость в графическом виде, а Носов (1979), на основе новых данных о силах столкновений, актуализировал ее. Это отношение слабо зависит от  $T_e$  и, тем самым, его можно использовать для определения  $n_e$ , предполагая, как обычно,  $T_e = 10^4 \text{ K}$ .

Зная  $n_e$ ,  $T_e$  и  $I(\lambda)/I(H_\beta)$  запрещенных линий, можно определить относительное содержание излучавших их ионов. Методикой определения относительного обилия ионов занимались многие авторы, но наиболее детально она разработана Пеймбертом (Пеймберт, 1968; Пеймберт и др., 1975). При использованных Пеймбертом предположениях относительное обилие  $N^+$  дается выражением

$$(11) \quad N(N^+)/N(H^+) = 1,65 \cdot 10^{-4} (1 + 0,14x) T_e^{-0,375} \cdot \frac{I(6584)}{I(H\alpha)} \exp\left(\frac{2,20 \cdot 10^4}{T_e}\right).$$

Рассматривая отношения  $I(\lambda 6584)/I(H\alpha)$  и  $I(\lambda\lambda 6717 + 31)/I(H\alpha)$  для областей Н II в М 33, Бенвенутти и др. (1973) установили, что  $N(N^+)$  пропорционально  $N(S^+)$  и на основании этого предложили для определения относительного содержания иона  $S^+$  следующее выражение:

$$(12) \quad N(N^+)/N(S^+) = 3,43 (1 + 0,14x) \approx \frac{I(6584)}{I(6717+31)} \exp\left(\frac{500}{T_e}\right) f(x, T_e),$$

где  $f(x, T_e) \sim 1$  для  $T_e = 10^4$  К и  $x \sim 1$  для  $n_e \sim 10^4$  см<sup>-3</sup>.  
Относительные содержания нормируются к  $\lg(H^+) = 12,00$ .

Значения  $n_e$  и  $T_e$  дают возможность оценить эффективный объем  $V_{\text{eff}}$ , занимаемый излучающим газом. Излучение 1 см<sup>3</sup> газа в линии  $H_\beta$  при  $\tau \leq 1$  составляет

$$(13) \quad 4\pi j(H_\beta) = h\nu(H_\beta) \cdot \alpha_{42}^{\text{eff}}(T_e) \cdot n_e \cdot n_p \text{ erg} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1},$$

где  $\alpha_{42}^{\text{eff}}(T_e) = 4,19 \cdot 10^{-16} \cdot n^2 \cdot A_{42} \cdot b_4 \cdot \exp(x_4/kT_e)/T_e^{3/2}$  см<sup>3</sup> · с<sup>-1</sup>, а  $n = 2$ ,  $A_{42} = 8,37 \times 10^6$  с<sup>-1</sup>. Теперь воспользуемся очевидным соотношением  $4\pi j(H_\beta) \cdot V_{\text{eff}}/4\pi R^2 = F(H_\beta)$ , где  $R = cz/H$  — расстояние до галактики. Отсюда

$$(14) \quad V_{\text{eff}} = \frac{c^2 \cdot z^2}{j(H_\beta) \cdot H^2} \cdot F(H_\beta) \text{ см}^3$$

и соответственно эффективный радиус

$$(14') \quad R_{\text{eff}} = (3 \cdot V_{\text{eff}}/4\pi)^{1/3} \text{ см}.$$

Известно, что газ в активных ядрах находится в виде облаков и волокон. Поэтому геометрический объем  $V$ , реально занимаемый излучающим газом, значительно больше эффективного, и  $V_{\text{eff}} = \varepsilon \cdot V$ , где  $\varepsilon$  — фактор скважности, который редко превышает  $10^{-3}$ .

Масса излучающего газа дается выражением

$$(15) \quad M_{\text{gas}} \approx n_e \cdot m_p \cdot V_{\text{eff}}/M_\odot$$

в единицах масс Солнца, где  $m_p$  — масса протона. Зная массу и наблюдаемую ширину эмиссионных линий, можно оценить кинетическую энергию газа  $E_k = M_{\text{gas}} \cdot v^2/2$  erg, где  $v = (1/2)$  FWHM. На наших спектрах доплеровское расширение линий чуть больше инструментальной ширины, и  $v \sim 150 - 250$  км · с<sup>-1</sup>.

Теперь, следуя работе Дибая, Проника (1965), оценим мощность  $P$  источника энергии ионизации. В случае радиативного возбуждения, это полная энергия поглощенных квантов  $Ly_c$ , которая равна числу  $N_i$  ионизаций атомов водорода, умноженному на полную среднюю потерю энергии  $\bar{\varepsilon}$  свободными электронами

$$(16) \quad P = N_i \cdot \bar{\varepsilon} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}.$$

$\bar{\varepsilon}$  можно оценить как сумму энергии  $\varepsilon_{\text{fl}}$ , идущей на возбуждение запрещенных линий; энергии  $\varepsilon_{\text{ff}}$ , теряемой на излучение в континууме при свободно-свободных переходах, и энергии  $\varepsilon_i = h\nu(Ly_c) + m_e v_e^2/2 \geq h_2(Ly_c)$ , затраченной при рекомбинациях

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon_{\text{fl}} + \varepsilon_{\text{ff}} + \varepsilon_i \text{ erg}.$$

Зная суммарную интенсивность запрещенных линий и  $T_e$ , получаем следующую оценку для полной средней потери энергии электроном (Каплан, Пикельнер, 1979)

$$(17) \quad \bar{\varepsilon} = 1,6 \cdot 10^{-12} \left[ 0,2 \left( \frac{10^4}{T_e} \right)^{1/3} \cdot \frac{\sum I(\lambda_i)}{I(H\beta)} + 1,2 \frac{T_e}{10^4} \right] \text{ erg.}$$

Удары второго рода учтены автоматически, поскольку здесь входят наблюдаемые интенсивности. Строго говоря, надо суммировать все запрещенные линии спектра, но наиболее существенный вклад дают линии оптического и близкого IR-диапазона. Последний член в (17) учитывает потери энергии электроном в непрерывном спектре при тормозном излучении и рекомбинациях  $\varepsilon_{ff} + \varepsilon_r$ .

В условиях квазистационарности число ионизаций  $N_i$  можно считать равным числу рекомбинаций  $N_r$ , которое в свою очередь равно (или больше) числу бальмеровских квантов  $N_{Bal}$ , излучаемых газом

$$N_i \approx N_r \geq N_{Bal}.$$

Количество же бальмеровских квантов можно определить из наблюдаемого в линии  $H\beta$  потока (для ионизации полем излучения  $N(Ly_c) \geq N_{Bal}$ ):

$$(18) \quad N_{Bal} = 4\pi R^2 \frac{F(H\beta)}{h\nu_{\beta}} \cdot 11,2 = 11,2 \frac{L(H\beta)}{h\nu_{\beta}} \text{ photon} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Таким образом, имеем все необходимое для оценки светимости  $P$  источника ионизации.

Рассмотрим в качестве механизма возбуждения ионизацию газа молодыми горячими звездами. Для определения числа  $n_*$  горячих звезд в ядрах галактик необходим поток  $Ly_c$ -квантов от типичной ионизирующей звезды  $N_*(Ly_c)$ . Тогда

$$(19) \quad n_* = \frac{P}{h\nu(Ly_c)} / N_*(Ly_c) \geq N_{Bal} \frac{\bar{\varepsilon}}{h\nu(Ly_c)} / N_*(Ly_c).$$

Для звезды класса 07 с массой  $\sim 30 M_{\odot}$   $N_*(Ly_c) = 6 \cdot 10^{48} \text{ photons} \cdot \text{s}^{-1}$  (Осмер и др., 1974). Дибай, Проник (1965) приводят аналогичное число  $Ly_c$ -квантов для звезд класса 05 V —  $N_*(Ly_c) = 2 \cdot 10^{49} \text{ photons} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Изложенная выше методика определения  $P$  и  $n_*$  удобна только в случаях, когда наблюдается достаточное число запрещенных линий. Если это не так, можно воспользоваться способом Осмера и др. (1974) для определения полного числа  $Ly_c$ -квантов  $N_{tot}$ . Используя результат Поттша (1965), что каждый фотон лаймановского континуума производит в среднем 0,463 фотона  $H\alpha$ , они получили  $N_{tot} = 2,00 \cdot 10^{12} L(H\beta) \text{ photons} \cdot \text{s}^{-1}$ , откуда для звезд класса 07

$$(20) \quad n_* = N_{tot} / N_*(Ly_c) = 3,36 \cdot 10^{-37} L(H\beta).$$

Следуя изложенной выше методике, проведено спектрофотометрическое исследование 22 галактик из списка Аракеляна. По имеющимся спектрограммам определены основные наблюдаемые характеристики и физические параметры излучающего газа в ядрах этих галактик. Результаты приведены в табл. 1, где в последовательных столбцах даются соответственно:

1. Номер по списку Аракеляна;
2. Эквивалентная ширина  $W(H\alpha)$  в Å линии  $H\alpha$ ;
3. Красное смещение  $z$  (число в квадратных скобках указывает на источник);

Таблица 1

| Объект | $W(H_\alpha)$<br>Å | $z$<br>в скобках<br>указан<br>источник | $n_e$ | $F(H_\alpha)$<br>$\times 10^{14}$<br>erg. cm $^{-2}$ . s $^{-1}$ | $\lg L(H_\alpha)$ | $R_{\text{eff}}$<br>pc | $M/M_\odot$ | $n_*$   | $\lg(N^+)$ | $\lg(S^+)$ |
|--------|--------------------|--|-------|--|-------------------|------------------------|-------------|---------|------------|------------|
| 144    | 6,2                | 0,028(5)                               | 32000 | 0,94   | 40,15             | 1,12                   | 1096        | 1680    | 7,52       | 7,68       |
| 147    | 25                 | 0,011(1)                               | 10    | 6,6  | 40,18             | 87,2                   | 2,8.10 $^6$ | 1800    | 7,67       | 6,99       |
| 211    | 17                 |  | 1000  | 1,8  |                   |                        |             | 25      | 7,42       | 7,16       |
| 215    | 37                 | 0,018(1)                               | 1000  | 3,5  | 40,33             | 4,7                    | 40200       | 2550    | 7,13       |            |
| 229    | 13                 | 0,008(1)                               | 1000  | 2,8  | 39,59             | 2,67                   | 7340        | 460     | 7,40       |            |
| 257    | 30                 | 0,005(1)                               | 1120  | 12,5   | 39,83             | 3,23                   | 12800       | 800     |            |            |
| 258    | 52                 | 0,014(1)                               | 8900  | 16,4   | 40,79             | 1,73                   | 15030       | 7350    | 7,20       | 6,61       |
| 283    | 12                 | 0,018(1)                               | 360   | 2,6  | 40,21             | 9,43                   | 10 $^5$     | 1930    | 7,21       | 6,65       |
| 337    | 27                 | 0,010(1)                               | 10    | 5,9  | 40,05             | 78,7                   | 2,1.10 $^6$ | 1350    | 7,40       | 6,59       |
| 533    | 40                 |  | 2500  | 6,0  |                   |                        |             |         | 7,62       | 6,87       |
| 583    | 4                  | 0,017(4)                               | 280   | 3,8  | 40,32             | 47,0                   | 352000      | 2500    | 7,28       | 6,77       |
| 564    | 81                 | 0,025(3)                               | 10000 | 148  | 42,23             | 8,78                   | 166000      | 202100  | 7,72       |            |
| 120    | 190(H $\beta$ )    | 0,033(2)                               | 1200  | 608  | 43,09             | 92,0                   | 2,3.10 $^7$ | 1464000 | 7,63       | 6,30       |

Источники лучевых скоростей: (1) — Аракелян и др., 1975, 1976; (2) — Остерброк и Филиппс, 1977; (3) — Цветанов, 1981; (4) — Петров и др., 1982; (5) — Минева и др., 1982.

4. Электронная плотность  $n_e$  см $^{-3}$  по формуле (10), учитывая работу Носова (1979);
5. Наблюдаемый поток  $F(H_\alpha)$  erg. cm $^{-2}$ . s $^{-1}$  по (5);
6. Светимость  $L(H_\alpha)$ , erg. s $^{-1}$  по (9);
7. Эффективный радиус в pc-области, занятой излучающим газом — по формуле (14');
8. Масса излучающего газа в единицах  $M_\odot$  — по (15);
9. Число ионизирующих звезд  $n_*$  — по формуле (20);
10. Относительное обилие  $\lg(N^+)$  — по (11);
11. Относительное обилие  $\lg(S^+)$  — по (12).

В табл. 1 включены данные только о 13 объектах. Сведения о галактиках Акн 42, 79, 80, 81, 223, 253, 286, 296 и 312 неполные и поэтому не включены в таблице, но они использовались при определении средних величин там, где это было возможно. Объекты Акн 120 и 564 являются галактиками типа Sy1 и поэтому выделены в конце таблицы. Физические условия в этих галактиках существенно отличаются от условий в остальных рассмотренных здесь ядрах. Они являются типичными представителями этого сейфертовского класса, им посвящено много работ, и поэтому мы не будем обсуждать их здесь более подробно. На рис. 1 показана регистрограмма спектра Акн 564 — классического спектра галактики типа Sy1.

Обсудим теперь средние характеристики исследованных нами аракелянских галактик. Средняя эквивалентная ширина  $W(H_\alpha)$  линии  $H_\alpha$  галактик Аракеяна несейфертовского типа равна  $24 \pm 14,4$  Å. Она получена по данным для 11 галактик, в спектрах которых наблюдается  $H_\alpha$ . Средний наблюдаемый поток  $F(H_\alpha) \sim 6 \cdot 10^{-14}$  erg. cm $^{-2}$ . s $^{-1}$  (11 галактик), а средняя светимость  $L(H_\alpha) \sim 2 \cdot 10^{40}$  erg. s $^{-1}$  (9 объектов). Светимость на порядок меньше, чем у галактик типа Sy1, и примерно на два порядка ниже, чем у галактик Sy1 (Дибай, Цветанов, 1980). Средняя масса излучающего газа  $\sim 10^{30}$  g или около  $5 \cdot 10^5 M_\odot$ , а среднее количество ранних звезд класса O7, UV-излучение которых достаточно для поддержания газа в ионизационно-рекомбинационном равновесии, порядка 2300.

Возникает вопрос, каким образом — по запрещенным или по разрешенным линиям оценивать  $n_*$ ? Ясно, что при недостаточном количестве зарегистрированных в спектрах запрещенных линий (что имеет место в нашем случае) формула (19) будет давать существенно недооцененные значения  $n_*$  по

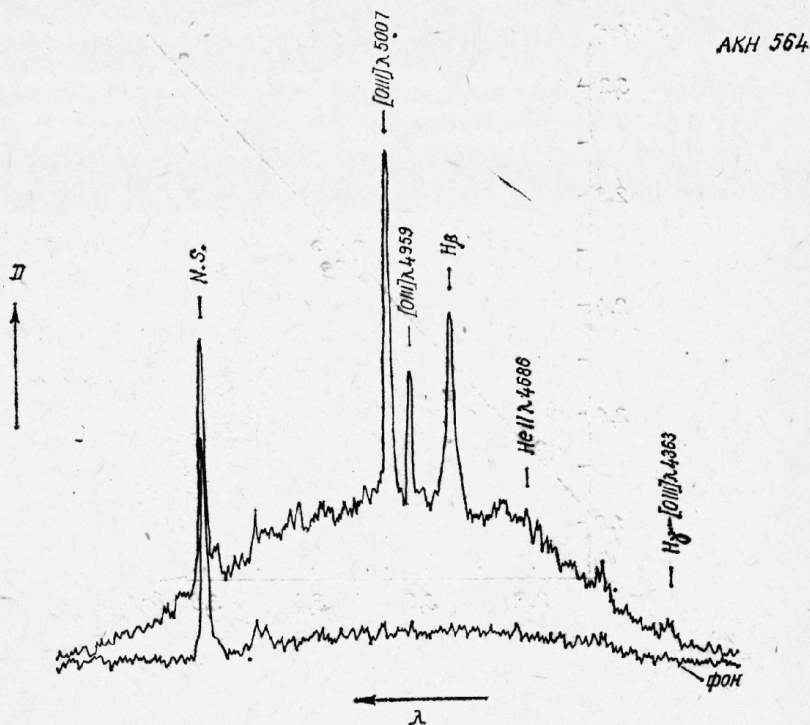


Рис. 1

сравнению с (20), где используются только водородные линии. На рис. 2 показано сравнение между результатами, полученными обоими методами по обработанным нами спектрам. Видно, что недооценка по (19) составляет 6—8 раз, т. е. мы выявляем слишком мало запрещенных линий. Поэтому в таблице приводятся результаты по (20), которые могут отличаться от реального  $n_*$  не более, чем в 2 раза (Осмер и др., 1974).

Среднее отношение интенсивностей  $I(\lambda 6584)/I(H\alpha) \approx 0,64$ . Оно близко к средней наблюдаемой величине для диффузных туманностей нашей Галактики, равной 0,45 и меньше, чем у галактик типа Sy2, для которых имеем 0,84 (Янкулова и др., 1981). С другой стороны, отношение интенсивностей линий дублета [S II]  $\lambda\lambda 6717, 31$  порядка 1 и, поскольку оно является мерой электронной плотности, то среднее  $n_e \sim 10^3 \text{ см}^{-3}$ , что близко к величине  $n_e$  для Sy2 — галактик (Коски, 1978).

Средние обилия ионов  $N^+$  и  $S^+$  (здесь включены и сейфертовские галактики) равны соответственно  $\lg(N^+) = 7,43 \pm 0,19$  и  $\lg(S^+) = 6,85 \pm 0,35$  при  $\lg(H^+) = 12,00$ , и таким образом они близки к аналогичным для нормальных и Sy2-галактик (Янкулова и др., 1981). Вообще, обилия элементов в активных ядрах определяются не очень надежно, потому что они критичны к температуре и степени ионизации. В оптическом диапазоне спектра наблюдаются линии ионов нескольких легких элементов, и только обилия этих ионов могут быть определены более уверенно. Одной из наиболее исследованных в этом отношении активной галактикой является радиогалактика

Сygnus A (Остерброк, Миллер, 1975) и для сравнения приведем полученные для нее обилия тех же ионов —  $\lg(\text{H}^+) = 7,94$  и  $\lg(\text{S}^+) = 7,04$ . Они несколько выше средних обилий для исследованных нами аракелянских галактик, хотя можно считать разницу несущественной. Распространено мнение

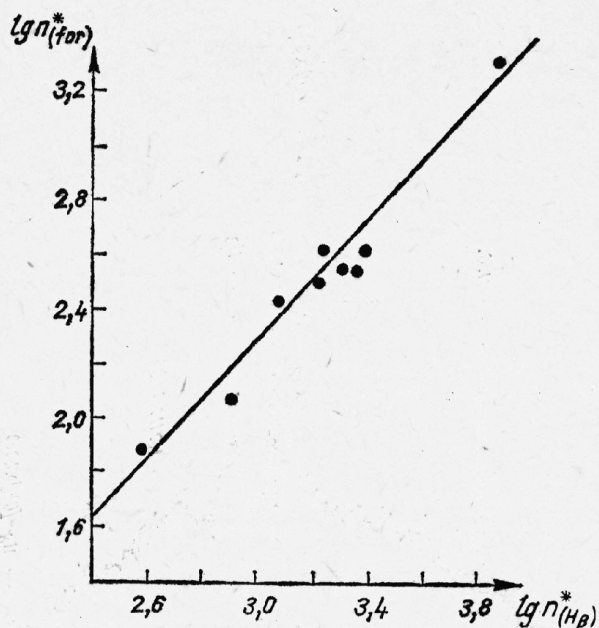


Рис. 2

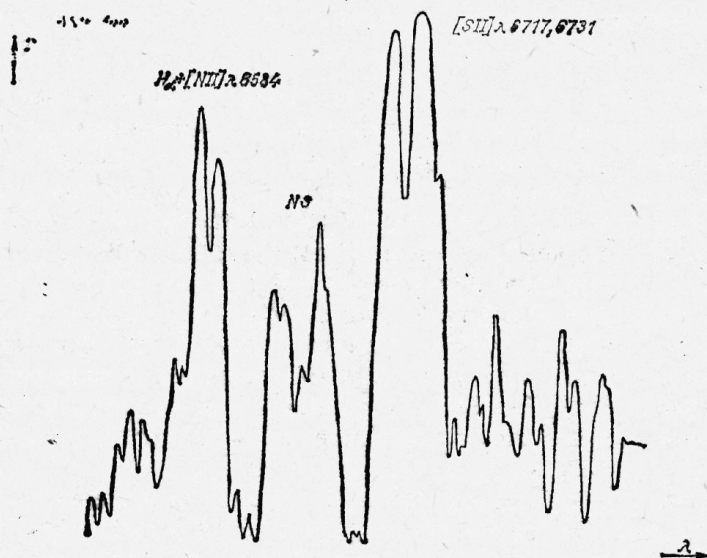


Рис. 3

что обилия ионов в активных ядрах не показывают особых аномалий по сравнению с обычными обилиями в туманностях (Остерброк, 1979).

Исключением в этом смысле является Акн 144, для которой  $\lg(\text{S}^+) = 7,68$  — это одно из наиболее высоких обилий, наблюдавшихся до сих пор.



Регистрограмма спектра Акн 144 в красной области показана на рис. 3. Видна мощная эмиссия дублета [S II]  $\lambda\lambda$  6717, 31.

Остановимся коротко на морфологии аракелянских галактик. Как уже упоминалось, считается, что  $\sim 50\%$  галактик Аракеляна принадлежат к

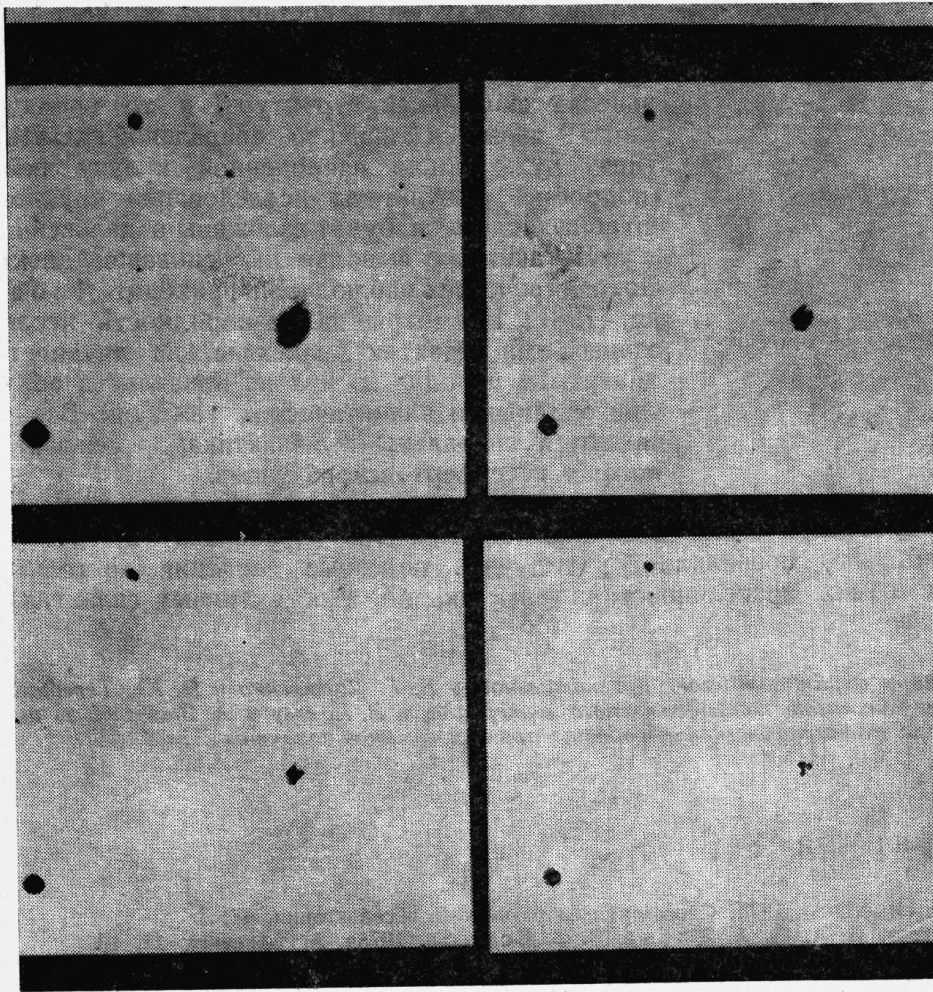


Рис. 4

типам  $SO$ , а остальные — к типу  $Sa$  (Коджоян и др., 1981). Однако этот результат опирается на изучение изображений этих галактик на картах Паломарского атласа неба. Изображения там мелкомасштабны и передержаны, что затрудняет точное определение морфологических типов и структуры ядерных областей аракелянских галактик.

На 2-м РКК-телескопе НАО БАН нами были получены крупномасштабные ( $12,8 \text{ arcsec. mm}^{-1}$ ) фотографии некоторых галактик высокой поверхностной яркости преимущественно в цвете В. Несмотря на случайный выбор объектов, среди них не оказалось ни одной эллиптической галактики. У некоторых объектов наблюдается сложная структура ядерных областей. Например, Акн 144 выглядит на картах Паломарского атласа очень компактным синим объектом со слабой оболочкой (Аракелян, 1975), а на наших

фотографиях (рис. 4) отчетливо видны три сгущения в ядре и явные указания на спиральную структуру. На рис. 5 приведены эквиденситы Аки 144 В системе Бюраканской классификации она, видимо, относится к типу 2s. При внешних размерах изображения  $26 \times 14$  arcsec (что соответствует  $14,0 \times 7,6$  крс) размеры отдельных сгущений и расстояния между ними составляют  $\leq 1$  крс. У Аки 583 наблюдается сложная полукольцевая структура около более яркого ядра, у Аки 564 — кольцевая спиральная структура, в то время как Аки 79 является типичной спиральной галактикой типа  $Sy_2$ , сильно наклоненной к лучу зрения (подробнее результаты исследования крупномасштабных снимков будут изложены в дальнейшем).

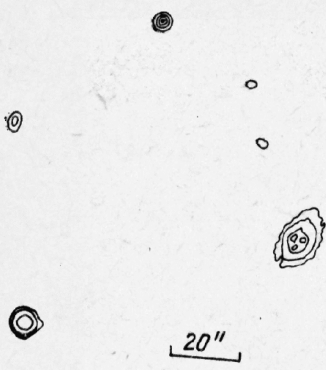


Рис. 5

К таким же выводам на основании электрофотометрических наблюдений приходят Дибай и др. (1981). Несмотря на разнородность исследованных ими галактик Аракеяна, на двухцветной диаграмме ни одна из них не попадает в область линзовидных и эллиптических галактик. Все они являются спиральными галактиками сейфертовского и несейфертовского типов.

Необходимость дальнейшего исследования как морфологических, так и спектрофотометрических особенностей галактик Аракеяна не вызывает сомнений. Это позволило бы получить полезные сведения не только о природе самих аракеяновских галактик, но и об активных галактиках в целом.

*Авторы выражают свою признательность В. Т. Дорошенко и В. Ю. Теребижу за представление части наблюдательного материала, и Э. Колеву и А. Станевоу за ценные советы при фотографической обработке прямых снимков галактик Аракеяна.*

## Литература

- Аракеян, М. А. 1975. Сообщения Бюраканской обсерватории, 47, 3.  
 Аракеян, М. А., Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов. 1975а. *Астрофизика*, 11, 15.  
 Аракеян, М. А., Э. А., Дибай, В. Ф. Есипов. 1975б. *Астрофизика*, 11, 377.  
 Аракеян, М. А., Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов. 1976а. *Астрофизика*, 12, 195.  
 Аракеян, М. А., Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов. 1976б. *Астрофизика*, 12, 683.  
 Бенвенутти и др. (Benvenuti, P., S. D'Odorico, M. Peimbert). 1973. *Astron. Astrophis.*, 28, 447.  
 Боярчук, А. А., Р. Е. Гершберг, Н. И. Годовников, В. И. Проник. 1969. *Изв. КрАО*, 39, 147.  
 Дибай, Э. А., В. Т. Дорошенко, К. А. Постнов. 1981. *Письма в АЖ*, 7, 527.  
 Дибай, Э. А., В. И. Проник. 1965. *Астрофизика*, 1, 78.  
 Дибай, Э. А., З. И. Цветанов. 1980. *АЖ*, 57, 1143.  
 Дорошенко, В. Т., В. Ю. Теребиж. 1976. *Астрофизика*, 11, 631.  
 Каплан, С. А., С. Б. Пикельнер. 1979. *Физика межзвездной среды*. М.  
 Коджоян и др. (Kojanian, G., D. F. Dickinson, M. A. Arakelian). 1980. *Bull. Am. Astron. Soc.*, 12, 822.  
 Коджоян и др. (Kojanian, G., R. Elliott, M. D. Bica, M. A. Arakelian). 1981. *As. J.*, 86, 820.  
 Коски (Koski, A. T.). 1978. *Ap. J.*, 223, 56.  
 Малумян, В. Г. 1980. *Астрофизика*, 16, 31.  
 Осмери и др. (Osmer, P. S., M. G. Smith, D. W. Weedman). 1974. *Ap. J.*, 192, 279.  
 Остерброк (Osterbrock, D. E.). 1974. *Astrophysics of Gaseous Nebulae*, Freeman & Co., San Francisco.

- Остерброк (Osterbrock, D. E.). 1979. — In: Active Galactic Nuclei. C. Hazard and S. Mitton (Eds.), Cambridge Univ. Press.
- Остерброк, Миллер (Osterbrock, D. E., J. S. Miller). 1975. Ap. J., 197, 535.
- Остерброк, Филлипс (Osterbrock, D. E., M. M. Phillips). 1977. PASP, 89, 251.
- Оук, Шилд (Oke, J. B., R. E. Schild). 1970. Ap. J., 161, 1015.
- Пеймберт (Peimbert, M.). 1968. Ap. J., 154, 33.
- Пеймберт и др. (Peimbert, M., J. F. Rayo, S. Torres-Peimbert). 1975. Rev. Mex. Astron. y Astrophys., 1, 289.
- Пеймберт, Торрес-Пеймберт (Peimbert, M., S. Torres-Peimbert). 1976. Ap. J., 203, 581.
- Петров, Г. Т. 1980. Диссертация. Ереванский университет.
- Потташ (Pottasch, S. R.). 1965. Vistas in Astronomy, 6, 149.
- Романов, А. М. 1980. Астрон. циркуляр, № 1128, 1.
- Цветанов, З. И. 1981. Письма в АЖ, 7, 147.
- Янкулова, И. М., В. К. Петров, В. К. Голев. 1981. Астрофиз. иссл., 3, 89.

## Results from the Spectrophotometric Research of Some Arakelian Galaxies

*V. K. Golev, Z. I. Tsvetanov, G. T. Petrov*

(Summary)

The results from the spectrophotometric research of 22 high surface brightness galaxies from the Arakelian's list (1975) are presented. The method of obtaining the physical parameters of the emitting gas is described. The electron density, the effective size, the mass of the emitting gas, and the abundances of ions  $N^+$  and  $S^+$  are estimated from the apparent observational data. The averaged values are compared with those of types 1 and 2 Seyfert galaxies. The plates, obtained with 2-m telescope at the Rojen National Astronomical Observatory, point out that spiral and peculiar galaxies are found more frequently among the Arakelian galaxies than that was supposed in the earlier papers.

*Кафедра астрономии  
Софийского университета им. Климента Охридского  
Секция астрономии с Национальной  
астрономической обсерваторией,  
Болгарская академия наук*

*Поступила 8. III. 1982.*