

УДК: 524.822

## РАЗДЕЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ ИЗЛУЧЕНИЯ И ОЦЕНКА КРАСНОГО СМЕЩЕНИЯ ЛАЦЕРТИД OQ 530 И OI 090.4 ПО ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

В. А. ГАГЕН-ТОРН, С. Г. МАРЧЕНКО

Поступила 29 марта 1989

Принята к печати 18 мая 1989

Для лацертид с неизвестным красным смещением предложен метод разделения компонентов излучения в двухкомпонентной модели (гигантская эллиптическая галактика + переменный точечный источник) с одновременной оценкой красного смещения, основывающийся на  $B, V$ -наблюдениях переменности. Метод применен к анализу данных для лацертид OQ 530 и OI 090.4, для которых получены, соответственно, значения красных смещений 0.132 и 0.128 и отношения светимостей центральных компонентов в максимуме к светимостям подстилающих галактик, равные 8.6 и 27.

**1. Введение.** Многочисленные исследования показали, что двухкомпонентная модель активных внегалактических объектов (точечный источник + подстилающая галактика), предложенная Сандейджем [1] для КЭО и примененная в ряде работ к другим активным объектам, достаточно хорошо представляет результаты наблюдений. Для правильной интерпретации наблюдательных данных важным моментом является разделение излучения этих двух компонентов.

В наших работах [2, 3] описана методика проведения такого разделения по данным о фотометрической переменности для объектов с известным красным смещением при наличии двухцветных ( $B, V$ ) и трехцветных ( $U, B, V$ ) наблюдений. Она применима в случае, если распределение энергии в спектре переменного (активного) компонента не меняется, что, как показал Холоневский [4], легко устанавливается из первоначального анализа наблюдательных данных (в этом случае в пространстве плотностей потоков  $\{\Phi_U, \Phi_B, \Phi_V, \dots\}$  точки, соответствующие наблюдаемым звездным величинам  $U, B, V, \dots$ , располагаются на прямой линии).

В случае трехцветных наблюдений при единственном предположении о «нормальности» галактики (в том смысле, что ее показатели цвета подчиняются зависимости, найденной Воккером и др. [5]) определяются плотности потоков подстилающей галактики (и тем самым ее показатели



цвета и хаббловский тип), в случае же двухцветных наблюдений показатель цвета галактики  $(B - V)_{z=0}$  приходится задавать. Имеются сведения, что подстилающая галактика, как правило, является гигантской эллиптической, поэтому можно принять, что  $(B - V)_{z=0} = +0^m95$  (это значение приводит Сандейдж [6]). Определяемая после разделения компонентов светимость подстилающей галактики должна быть близка к светимости гигантских эллиптических галактик ( $M_V^0 = -23^m3$  для  $H_0 = 50$  км/с/Мпк [7]), что служит критерием самосогласованности проведенного разделения.

В этой работе мы предлагаем метод разделения компонентов при наличии двухцветных  $(B, V)$  наблюдений для объектов с неизвестным красным смещением. Он существенно опирается на предположение о том, что подстилающая галактика является гигантской эллиптической. Одновременно с разделением компонентов оценивается и красное смещение объекта. Разработанная методика применена к анализу  $B, V$ -наблюдений лацетид OQ 530 и OI 090.4, для которых нет прямых определений красного смещения, поскольку в их спектрах не наблюдается ни абсорбционных, ни эмиссионных деталей.

2. Методика разделения компонентов. Пусть имеются двухцветные  $(B, V)$  наблюдения активного внегалактического объекта с достаточно большим интервалом изменений блеска. После исправления наблюдаемых величин за межзвездное поглощение в Галактике перейдем в соответствии с абсолютной калибровкой Джонсона [8] к плотностям потоков  $\Phi_B$  и  $\Phi_V$  в мЯн по формулам

$$\left. \begin{aligned} \lg \Phi_B &= 6.670 - 0.4 B \\ \lg \Phi_V &= 6.600 - 0.4 V \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

и сопоставим величины  $\Phi'_B$  и  $\Phi'_V$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ , где  $N$  — общее число наблюдений). Допустим, что точки на графике  $\Phi_B \div \Phi_V$  лежат на прямой линии (т. е. распределение энергии в спектре переменного компонента не изменяется) и пусть уравнение этой прямой

$$\Phi_B = a\Phi_V + b. \quad (2)$$

Коэффициенты  $a$  и  $b$  легко найти способом наименьших квадратов. Поскольку в нашем случае ошибки имеются как в величинах  $\Phi_B$ , так и в величинах  $\Phi_V$ , лучше всего использовать метод ортогональной регрессии, в котором минимизируется сумма квадратов отклонений точек от прямой по нормали к ней (см. [9]). Если ошибки в обеих сравниваемых величинах одинаковы, то коэффициенты  $a$  и  $b$  находятся по формулам

$$a = \operatorname{tg} \left[ \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{2 \sum_i (\Phi'_V - \bar{\Phi}_V) (\Phi'_B - \bar{\Phi}_B)}{\sum_i (\Phi'_V - \bar{\Phi}_V)^2 - \sum_i (\Phi'_B - \bar{\Phi}_B)^2} \right]. \quad (3)$$

$$b = \bar{\Phi}_B - a \bar{\Phi}_V.$$

Здесь  $\bar{\Phi}_B = \frac{1}{N} \sum_i \Phi'_B$  и  $\bar{\Phi}_V = \frac{1}{N} \sum_i \Phi'_V$ .

Значения наблюдаемых потоков от галактической подложки  $\Phi_B^r$  и  $\Phi_V^r$  должны удовлетворять уравнению (2). В случае, если красное смещение объекта известно, второе уравнение, связывающее  $\Phi_B^r$  и  $\Phi_V^r$ , как показано в [2], легко находится после задания показателя цвета подстилающей галактики. Мы имеем

$$(B - V)_{\text{набл}}^r = (B - V)_{z=0}^2 + k_{BV}(z). \quad (4)$$

Пусть отношение наблюдаемых потоков от галактической подложки  $\Phi_B^r / \Phi_V^r = \alpha$ . Из (1) следует, что

$$\lg (\Phi_B / \Phi_V) = 0.070 - 0.4 (B - V), \quad (5)$$

и для галактической подложки будет

$$\lg (\Phi_B^r / \Phi_V^r) = 0.070 - 0.4 (B - V)_{\text{набл}}^r,$$

так что

$$\alpha = 10^{0.070 - 0.4 (B - V)_{\text{набл}}^r}. \quad (6)$$

Значения  $\Phi_B^r$  и  $\Phi_V^r$  находятся из решения системы

$$\left. \begin{aligned} \Phi_B &= \alpha \Phi_V + b \\ \Phi_B &= \alpha \Phi_V \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

Если красное смещение неизвестно, то мы не можем определить  $\alpha$ , поскольку нам неизвестна  $k$ -поправка  $k_{BV}(z)$ .

Будем считать, что подстилающая галактика является гигантской эллиптической. Это дает: а)  $(B - V)_{z=0}^r = + 0^m 95$ ; б)  $M_B^{26} = - 22^m 35$  [7]; в) для кривой нарастания блеска с ростом диафрагмы можно использовать кривую из [10]. Из очевидной формулы

$$m = M - 5 + 5 \lg D,$$

где  $D = cz/H_0$  будем иметь при  $H_0 = 50$  км/с/Мпк.

$$B_{\text{набл}}^r = - 22^m 35 + \Delta(\theta'', z) + k_B(z) + 43.9 + 5 \lg z, \quad (8)$$

где  $\Delta(\theta'', z)$  — апертурная поправка, берущаяся по кривой нарастания блеска [10] ( $\theta''$  — размер диафрагмы, с которой получены  $B, V$  — наблюдения),  $k_B(z)$  —  $k$ -поправка. Зависимости  $k_B(z)$  и  $k_{BV}(z)$  для гигантских эллиптических галактик определены Пенсом [11].

Вычислим по (8) значения  $B_{\text{набл}}^r$  в зависимости от  $z$  для того размера диафрагмы  $\theta''$ , с которым велись наблюдения. Имея такую таблицу, можно оценить методом последовательных приближений величины  $B_{\text{набл}}^r$  и  $z$  с использованием формул (1), (4), (6), (7). Действительно, зададим любую из величин  $z^{(0)}$  или  $B_{\text{набл}}^{r(0)}$  (другая находится по таблице). Затем по (4) находим  $(B - V)_{\text{набл}}^{r(0)}$ , по (6) находим  $\alpha^{(0)}$ , решаем систему (7) и находим  $\Phi_B^{r(1)}$  и затем по (1)  $B_{\text{набл}}^{r(1)}$ . Если  $B_{\text{набл}}^{r(1)} = B_{\text{набл}}^{r(0)}$ , то  $z^{(0)}$  и  $B_{\text{набл}}^{r(0)}$  и будут искомыми оценками, если нет, делаем следующее приближение: по  $B_{\text{набл}}^{r(1)}$  находим по таблице  $z^{(1)}$  и, повторяя все операции, получаем  $B_{\text{набл}}^{r(2)}$  и т. д., пока не окажется  $z^{(k+1)} = z^{(k)}$ . Как показывает практика, оказывается достаточным сделать 2—3 приближения.

Для проверки работоспособности метода мы применили его сначала к объекту с известным красным смещением, а именно, были взяты  $B, V$  — данные, полученные Сандейджем с диафрагмой 7".6 для объекта ЗС 371, у которого  $z = 0.051$ . В работе [3] проведено сопоставление потоков  $\Phi_B$  и  $\Phi_V$  для этого объекта и найдены коэффициенты первого уравнения системы (7):  $a = 0.847$ ,  $b = -1.11$ . Величины  $B_{\text{набл}}^r$  в зависимости от  $z$  для  $\theta'' = 7".6$  даются во втором столбце табл. 1. В табл. 2 приведены результаты оценки  $z$  и  $B_{\text{набл}}^r$ . Как видно, полученное после трех приближений значение  $z$  отличается от истинного всего на 0.001, причем зависимости от нулевого приближения практически нет.

Необходимо заметить, что разделение компонентов, выполненное для ЗС 371 в [3], дает  $M_B^{26} = -22^m3$ , что близко к постулированному нами значению  $M_B^{26} = -22^m35$ . Правильность оценки  $z$  сильно зависит от соответствия постулированного значения  $M_B^{26}$  истинному. Из (8) видно, что если отвлечься от поправочных членов, зависящих от  $z$ ,

то  $z'/z \approx 10^{0.2\Delta M_B^{26}}$  и при  $\Delta M_B^{26} = 1^m0$  будет  $z'/z = 1.6$ . Так, для объекта Mrk 421, у которого  $z = 0.030$  и в результате разделения компонентов при этом значении  $z$  получается  $M_B^{26} = -21^m55$ , применение вышеизложенной методики дает завышенное значение  $z = 0.049$ .

Таблица 1

НАБЛЮДАЕМАЯ ЗВЕЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА ГАЛАКТИКИ  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КРАСНОГО СМЕЩЕНИЯ И  
ДИАМЕТРА ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ДИАФРАГМЫ

$z$	$\theta''$	$B_{\text{набл}}^r$		
		7".6	16"	27"
0.030	15 <sup>m</sup> 86	15 <sup>m</sup> 08	14 <sup>m</sup> 68	
0.035	15.98	15.30	14.94	
0.040	16.15	15.52	15.17	
0.045	16.33	15.73	15.39	
0.050	16.50	15.89	15.60	
0.055	16.67	16.11	15.80	
0.060	16.81	16.33	15.98	
0.065	16.92	16.40	16.13	
0.070	17.08	16.56	16.31	
0.075	17.20	16.70	16.46	
0.080	17.32	16.84	16.60	
0.085	17.45	16.97	16.75	
0.090	17.56	17.09	16.87	
0.095	17.67	17.21	17.00	
0.100	17.77	17.32	17.11	
0.110	17.97	17.54	17.34	
0.120	18.18	17.77	17.56	
0.130	18.36	17.97	17.78	
0.140	18.52	18.15	17.97	
0.150	18.68	18.32	18.14	
0.160	18.84	18.50	18.32	
0.170	19.01	18.67	18.49	
0.180	19.14	18.81	18.64	
0.190	19.28	18.96	18.79	
0.200	19.43	19.11	18.94	

Таблица 2

ОЦЕНКА КРАСНОГО СМЕЩЕНИЯ И НАБЛЮДАЕМОЙ ЗВЕЗДНОЙ  
ВЕЛИЧИНЫ ГАЛАКТИКИ С ДИАФРАГМОЙ 7".6 ДЛЯ ЗС 371

$z^{(0)}/B_{\text{набл}}^{r(0)}$	$z^{(1)}/B_{\text{набл}}^{r(1)}$	$z^{(2)}/B_{\text{набл}}^{r(2)}$	$z^{(3)}/B_{\text{набл}}^{r(3)}$	$z^{(4)}/B_{\text{набл}}^{r(4)}$
0.030/15 <sup>m</sup> 86	0.047/16 <sup>m</sup> 40	0.050/16 <sup>m</sup> 52	0.051/16 <sup>m</sup> 54	0.051/16 <sup>m</sup> 54
0.100/17.77	0.062/16.86	0.054/16.63	0.052/16.56	0.052/16.56
0.200/19.43	0.072/17.27	0.057/16.72	0.053/16.58	0.052/16.56

3. Оценка красного смещения и разделение компонентов для OQ 530 и OI 090.4. Как уже говорилось во введении, красное смещение лацертид OQ 530 и OI 090.4 неизвестно. Но для обоих объектов в литературе имеется достаточно фотометрических  $B$ ,  $V$ -данных, что позволяет использовать при их изучении изложенную в предыдущем разделе методику разделения компонентов и оценки красного смещения. Наибольшее количество наблюдательных данных для обеих лацертид получено с диафрагмами  $14''$ — $18''$ , поэтому значения  $B_{\text{набл}}^r$  в зависимости от  $z$  были сосчитаны для  $\theta'' = 16''$  (эти значения приведены в третьем столбце табл. 1, в четвертом столбце даются значения  $B_{\text{набл}}^r$  для часто используемой при фотометрических наблюдениях диафрагмы  $27''$  — они были нам нужны при оценке  $z$  для Mгk 421).

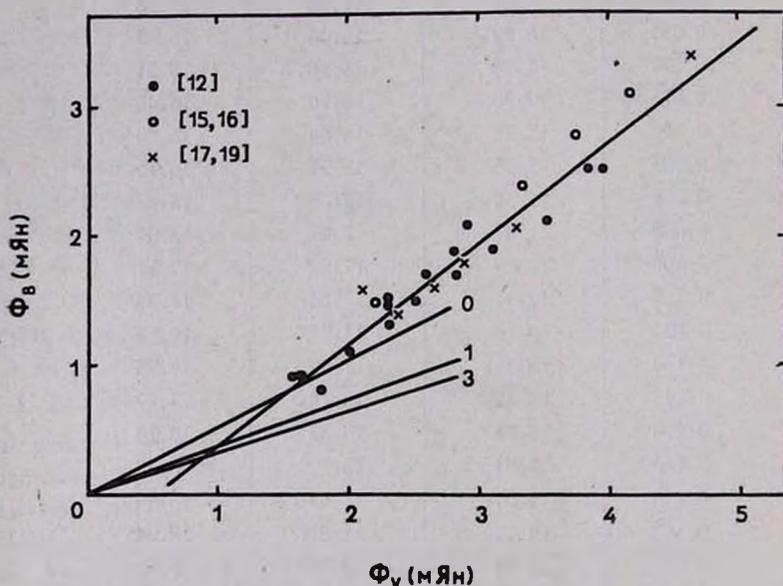


Рис. 1. Сопоставление наблюдаемых плотностей потоков  $\Phi_B$  и  $\Phi_V$  для OQ 530. Прямая проведена методом ортогональной регрессии. Указаны работы, из которых взяты наблюдательные данные.

Для проведения разделения компонентов использовались данные работ [12—19]. Поправки за межзвездное поглощение были внесены только для OI 090.4 ( $A_B = 0^m07$ ,  $A_V = 0^m09$ ); для OQ 530  $A_V = 0^m0$ . Значения потоков  $\Phi_B$  и  $\Phi_V$  сопоставлены для OQ 530 на рис. 1 и для OI 090.4 на рис. 2. Разные значки представляют данные разных авторов. На рис. 2 нанесены данные из работы [14], в которой не указан размер диафрагмы, с которой проводились наблюдения; однако, поскольку эти точ-

ки располагаются в области больших потоков, где вклад от галактической подложки мал по сравнению с вкладом от центрального источника, мы включили эти точки в рассмотрение. На обоих рисунках имеется также по несколько точек, соответствующих наблюдениям с диафрагмой 28" (из [17]) — систематического смещения для них незаметно.

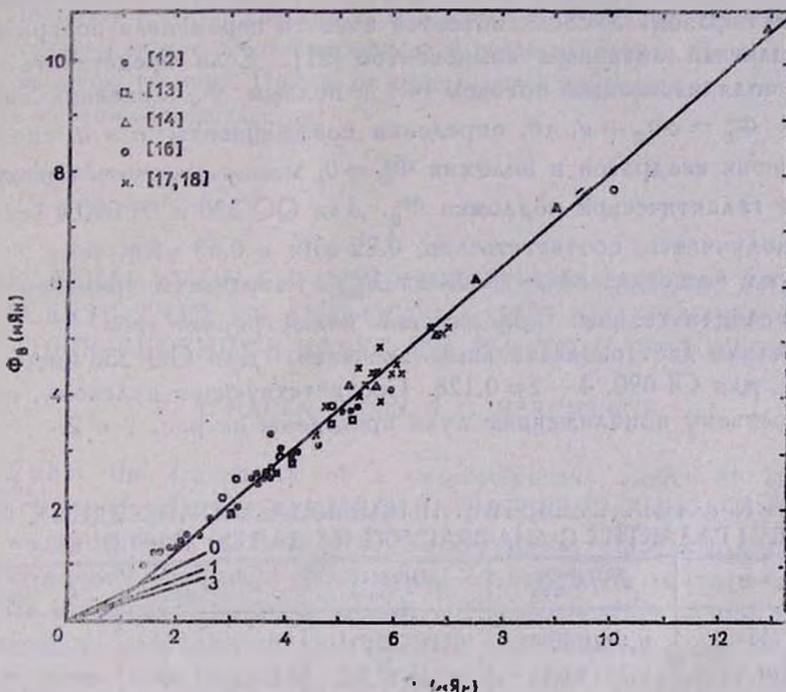


Рис. 2. То же, что на рис. 1, но для OI 090.4.

Видно, что на обоих рисунках точки располагаются вдоль прямых линий, т. е. модель переменного по потоку активного источника с неизменным распределением энергии в спектре применима. Уравнения прямых, полученные методом ортогональной регрессии, таковы:

$$\begin{aligned} \text{для OQ 530 } \Phi_B &= 0.794 \Phi_V - 0.411 & (9) \\ &\pm 0.049 \quad \pm 0.062, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{для OI 090.4 } \Phi_B &= 0.861 \Phi_V - 0.493 & (10) \\ &\pm 0.022 \quad \pm 0.072 \end{aligned}$$

(ошибки указаны на уровне  $2\sigma$ ).

Угловые коэффициенты в уравнениях (9) и (10) определяют показатели цвета переменного компонента. Воспользовавшись формулой

(5), получим  $(B - V)^{var} = 0^m43 \pm 0^m07$  для OQ 530 и  $(B - V)^{var} = 0^m34 \pm 0^m03$  для OI 090.4. Такие показатели цвета являются обычными для переменных компонентов у лагертид (см., например, [20]).

Проведем теперь разделение компонентов. В качестве нулевого приближения возьмем величины  $B_{набл}^{r(0)} = 16^m89$  ( $z^{(0)} = 0.082$ ) для OQ 530 и  $B_{набл}^{r(0)} = 17^m18$  ( $z^{(0)} = 0.094$ ) для OI 090.4. Эти значения получены следующим образом. У обоих объектов имеется переменная поляризация, обусловленная активным компонентом [21]. Если представить связь между поляризованным потоком  $\Phi_B^p$  и полным  $\Phi_B$  линейной зависимостью  $\Phi_B^p = c\Phi_B + d$ , то, определив коэффициенты  $c$  и  $d$  способом наименьших квадратов и положив  $\Phi_B^p = 0$ , можно получить оценку потока от галактической подложки  $\Phi_B^r$ . Для OQ 530 и OI 090.4 эти значения получились, соответственно, 0.82 мЯн и 0.63 мЯн, чему и соответствуют вышеуказанные значения  $B_{набл}^{r(0)}$ . Результаты применения метода последовательных приближений иллюстрирует табл. 3. Третье приближение дает окончательные значения. Для OQ 530 имеем  $z = 0.132$ , для OI 090.4 —  $z = 0.128$ . Соответствующие нулевому, первому и третьему приближениям лучи проведены на рис. 1 и 2.

Таблица 3

ОЦЕНКА КРАСНЫХ СМЕЩЕНИЙ И НАБЛЮДАЕМЫХ ЗВЕЗДНЫХ ВЕЛИЧИН ГАЛАКТИК С ДИАФРАГМОЙ 16" ДЛЯ OQ 530 И OI 090.4

Объект	$z^{(0)}/B_{набл}^{r(0)}$	$z^{(1)}/B_{набл}^{r(1)}$	$z^{(2)}/B_{набл}^{r(2)}$	$z^{(3)}/B_{набл}^{r(3)}$
OQ 530	0.082/16 <sup>m</sup> 89	0.117/17 <sup>m</sup> 71	0.128/17 <sup>m</sup> 93	0.132/18 <sup>m</sup> 00
OI 090.4	0.094/17.18	0.119/17.74	0.127/17.90	0.128/17.93

При значении  $\theta'' = 16''$  и  $z = 0.13$  поправка  $\Delta(\theta'', z) = 0^m20$ , так что блеск подстилающих галактик будет  $B_{г}^r = 17^m80$  (OQ 530) и  $B_{г}^r = 17^m73$  (OI 090.4), что дает  $\Phi_B^{26} = 0.36$  мЯн и  $\Phi_B^{26} = 0.38$  мЯн для OQ 530 и OI 090.4, соответственно. Максимальные наблюдаемые потоки для этих объектов (см. рис. 1 и 2) составляют 3.4 мЯн и 10.6 мЯн. Вычитая из этих значений наблюдаемые потоки от галактической подложки (при  $\theta'' = 16''$ ), получим 3.1 мЯн и 10.3 мЯн. Следовательно, в максимуме поток активного компонента в полосе  $B$  превышает поток от подстилающей галактики, (являющейся, напомним, гигантской) в 8.6 раз у OQ 530 и в 27 раз у OI 090.4. Таким образом, активность центрального источника у обоих объектов (в особенности у OI 090.4) весьма высока.

4. *Заключительные замечания.* В заключение сделаем два замечания.

- а) В отличие от упоминавшегося во введении случая, когда разделение компонентов проводится для объекта с известным  $z$ , здесь, к сожалению, нет теста самосогласованности проведенного разделения компонентов.
- б) Как уже упоминалось, результаты разделения сильно зависят от соответствия между постулированным значением  $M_B^{26} = -22^m 35$  и истинным. Принятая в статье светимость близка к максимальной, так что истинная в среднем может оказаться меньше и тогда найденное  $z$  представляет собой верхнюю границу. Применяя вышеизложенный метод не следует забывать об этом обстоятельстве.

Ленинградский государственный  
университет

## THE SEPARATION OF COMPONENTS OF RADIATION OF LACERTIDS OQ 530 AND OI 090.4 AND EVALUATION OF THEIR REDSHIFTS BASED ON PHOTOMETRIC DATA

V. A. HAGEN-THORN, S. G. MARCHENKO

Within the framework of a two-component model of lacertids (giant elliptical galaxy + variable point source) for the objects with unknown redshifts a method of separation of the components of their radiation, based on  $B$ ,  $V$ —observations of variability is proposed. The redshifts are evaluated simultaneously. The application of this method to analysis of data for lacertids OQ 530 and OI 090.4 gives  $z = 0.132$  for the former and  $z = 0.128$  for the latter; the ratios of luminosities of point sources at maximum to luminosities of ellipticals are 8.6 and 27, respectively.

### ЛИТЕРАТУРА

1. A. Sandage, Pontif. Acad. Sci. Scripta Varia, 35, 271, 1971.
2. В. А. Гаген-Торн, С. Г. Марченко, В. А. Яковлева, *Астрофизика*, 22, 5, 1985.
3. В. А. Гаген-Торн, *Астрофизика*, 22, 449, 1985.
4. J. Cholonowski, *Acta Astron.*, 31, 293, 1981.
5. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H. G. Corwin, *Mem. Roy. Astron. Soc.*, 77, 1, 1972.
6. A. Sandage, *Astrophys. J.*, 180, 678, 1973.
7. A. Sandage, *Astrophys. J.*, 178, 1, 1972.
8. H. L. Johnson, *Com. LPL*, 3, 73, 1965.
9. Ю. В. Линник, *Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений*, Изд. Физ-мат. лит., М., 1962, стр. 19.

10. *A. Sandage*, *Astrophys. J.*, 173, 485, 1972.
11. *W. D. Pence*, *Astrophys. J.*, 203, 39, 1976.
12. *P. S. Smith, T. J. Balonek, R. Elston, P. A. Heckert*. *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 64, 459, 1987.
13. *M. L. Sittko, G. D. Schmidt, W. A. Stein*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 59, 323, 1985.
14. *S. Tapia, E. G. Crain, M. R. Gearhart, E. Pacht, J. Kraus*, *Astrophys. J.*, 215, L71, 1977.
15. *S. L. O'Dell, J. J. Pashell, W. A. Stein, F. Owen, R. W. Porcas, S. Mufson, T. J. Moffett, M. -H. Ulrich*, *Astrophys. J.*, 224, 22, 1978.
16. *J. J. Pashell, W. A. Stein*, *Astrophys. J.*, 237, 331, 1983.
17. *С. А. Пустыльник, А. А. Пустыльник, С. И. Неизвестный, В. М. Люгый*. *Сообщ. Спец. астрофиз. обсерв. АН СССР*, № 48, 27, 1985.
18. *С. А. Пустыльник, В. М. Люгый, С. И. Неизвестный*, *Письма в Астрон. ж.*, 7, 547, 1981.
19. *Г. М. Бескин, В. М. Люгый, С. И. Неизвестный, С. А. Пустыльник, В. Ф. Шварцман*, *Астрон. ж.*, 62, 432, 1985.
20. *В. А. Гаген-Торн*, в сб. «Активные ядра и звездная космогония», ред. Д. Я. Мартынов, Изд. МГУ, М., 1987, стр. 98.
21. *С. Г. Марченко*, *Астрофизика*, 22, 15, 1985.