

УДК: 520.85+520.82

ПОЛЯРИЗАЦИОННОЕ И ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ BL Lac. АНАЛИЗ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ. I

В. А. ГАГЕН-ТОРН, С. Г. МАРЧЕНКО, В. А. ЯКОВЛЕВА

Поступила 5 апреля 1984

Принята к печати 3 ноября 1984

Статья посвящена анализу результатов поляризационных и фотометрических наблюдений BL Lac за 1969—1982 гг., опубликованных в [1]. Фотометрические данные согласуются с двухкомпонентной моделью объекта: гигантская эллиптическая галактика плюс точечный источник, меняющийся по интенсивности, но с неизменным распределением энергии. Из рассмотрения поляризационных данных следует, что у BL Lac имеется преимущественное направление поляризации, причем высокие степени поляризации встречаются только при направлениях, близких к преимущественному. Зафиксирована сильная переменность поляризации с характерным временем порядка 1 часа, однако всего в двух случаях из 316.

1. *Введение.* В статье [1] была обоснована важность исследования фотометрического и поляризационного поведения лацертид, были опубликованы результаты выполненных в Астрономической обсерватории Ленинградского университета наблюдений BL Lac и проведено их сопоставление с данными других наблюдателей, показавшее хорошее согласие. В настоящей работе будут приведены некоторые результаты анализа опубликованных в [1] наблюдательных данных.

2. *Анализ фотометрических данных.* При анализе фотометрических данных мы использовали методику исследования, являющуюся развитием методики, предложенной Холоневским [2] для изучения переменных внегалактических объектов. Суть ее состоит в том, что после перехода от звездных величин к плотностям потоков (в дальнейшем для краткости будем называть их просто «потоками») проводится сопоставление этих величин, полученных в разных цветовых полосах. Если изучение объекта состоит из постоянного компонента и компонента, переменного по интенсивности, но с неизменным распределением энергии, то в пространстве потоков точки, соответствующие наблюдаемым потокам, должны лежать на прямой линии. «Направляющие тангенсы» этой прямой определяют показатели цвета переменного компонента. (Отметим, что аналогичный под-

ход был предложен одним из авторов этой статьи для исследования результатов поляризационных наблюдений переменных внегалактических объектов [3, 4]).

Для получения сведений о показателях цвета переменного компонента достаточно перехода к потокам в некоторых относительных единицах, что и делает Холоневский [2]. Существенно большая информация может быть получена в случае перехода к потокам в абсолютных единицах. Если воспользоваться абсолютной калибровкой B , V -величин, даваемой Джонсоном [5], то для потоков в мЯн получаются следующие выражения:

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

Допустим, что точки, соответствующие наблюдаемым B , V -величинам, в пространстве (Φ_V, Φ_B) лежат на прямой линии, т. е.

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

Очевидно, для переменного компонента будем иметь $(\Phi_B/\Phi_V)_{\text{var}} = a$. Для определения его показателя цвета эту величину достаточно подставить в формулу

$$\lg (\Phi_B/\Phi_V) = 0.070 - 0.4 (B - V), \quad (3)$$

полученную вычитанием второго из выражений (1) из первого. Будем иметь

$$(B - V)_{\text{var}} = -2.5 \lg a + 0.175. \quad (4)$$

Что же касается постоянного компонента, то представляющая его точка должна лежать на прямой (2) ближе к началу координат, чем точки, соответствующие наблюдаемым потокам. Но чтобы ее найти и разделить тем самым компоненты, необходимо сделать дополнительное предположение. Одна из возможностей состоит в том, чтобы задать показатель цвета постоянного компонента $(B - V)_{\text{const}}$. Геометрическим местом точек, соответствующих компонентам различной интенсивности с показателем цвета $(B - V)_{\text{const}}$, будет исходящий из начала координат луч $\Phi_B = a\Phi_V$, где согласно (3)

$$a = 10^{0.070 - 0.4 (B - V)_{\text{const}}}. \quad (5)$$

Тогда потоки Φ_B^{const} и Φ_V^{const} найдутся как решение системы

$$\left. \begin{aligned} \Phi_B &= a\Phi_V + b \\ \Phi_B &= a\Phi_V \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Величины Φ_B и Φ_V , найденные для BL Lac по нашим фотометрическим данным с помощью формул (1), сопоставлены на рис. 1 (точки соответствуют наблюдениям, выполненным с диафрагмой 27", крестики—19"). Видно, что точки ложатся на прямую линию, так что результаты наблюдений могут быть достаточно хорошо представлены вышеуказанной двухкомпонентной моделью.

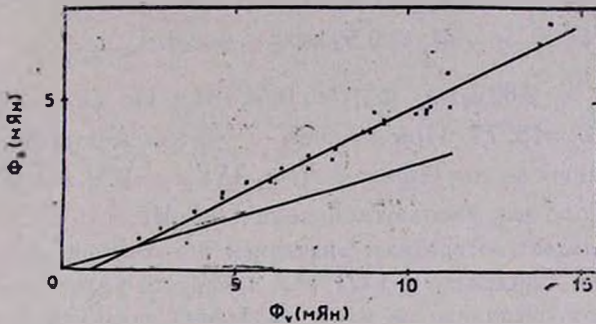


Рис. 1. Сопоставление наблюдаемых потоков Φ_B и Φ_V для BL Lac. ● — 27", × — 19".

Если способом наименьших квадратов провести прямые, считая, что все ошибки заключены сначала, скажем, в Φ_B , а потом в Φ_V , и взять затем среднюю прямую (она проведена на рис. 1), то уравнение ее будет $\Phi_B = 0.521 \Phi_V - 0.420$. Подставляя $a = 0.521$ в (4), получим $(B - V)_{\text{var}} = -0^m.88$. Ошибка в определении коэффициента a не больше 0.020, так что $(B - V)_{\text{var}}$ определяется с точностью $\pm 0^m.04$. BL Lac расположена на галактической широте -10° , поэтому необходимо внести поправку за покраснение. Согласно нескольким независимым определениям [6, 7] избыток цвета для нее $E_{B-V} = 0^m.30$, так что после исправления будет $(B - V)_{\text{var}} = 0^m.58 \pm 0^m.04$. Это значение согласуется с полученным Холоневским [2], который использовал другой наблюдательный материал.

Обратимся теперь к разделению компонентов. Как следует из результатов работ [8, 9], в случае BL Lac «подстилающая галактика» представляет собой гигантскую эллиптическую галактику размером $\approx 20''$. Наши наблюдения, выполненные с диафрагмой 27", должны регистрировать практически все излучение галактики (подтверждением этого может служить то, что крестики на рис. 1, соответствующие наблюдениям с диафрагмой 19", почти не уклоняются от прямой). Для гигантской эллиптической галактики $(B - V)_0 = 0^m.90$ [10]. BL Lac имеет красное смещение $z = 0.07$. Согласно [11] K-поправка для нее будет $K_{B-V} = 0^m.23$. Поз-

тому с учетом галактического покраснения $E_{B-V} = 0^m30$ для наблюдаемого показателя цвета подстилающей галактики можно принять $(B-V)_{\text{const}} = 1^m43$. Подстановка этого значения в (5) дает $\alpha = 0.314$ (соответствующий луч также проведен на рис. 1) и система (6) запишется:

$$\left. \begin{aligned} \Phi_B &= 0.314 \Phi_V \\ \Phi_B &= 0.521 \Phi_V - 0.420 \end{aligned} \right\}.$$

Отсюда $\Phi_V^{\text{const}} = 2.02$ мЯн, $\Phi_B^{\text{const}} = 0.64$ мЯн. По (1) получаем $B_{\Gamma}^{\text{набл.}} = 17^m20$, $V_{\Gamma}^{\text{набл.}} = 15^m77$. При $z = 0.07$ с учетом K -поправки ($K_V = 0^m11$ [11]) и поправки за поглощение $A_V = 3E_{B-V} = 0^m9$ это дает при $H_0 = 50$ км/с/Мпс для абсолютной величины $M_V = -23^m3$. Полученное значение совпадает со средним значением абсолютной величины, которое было выведено Сандейджем [12] для ярчайших эллиптических галактик. Таким образом, выполненное нами выделение галактического компонента является самосогласованным.

Недавно в работе [13] отстаивалась точка зрения, что подстилающая галактика в случае BL Lac является спиральной. Это представление, как нам кажется, не согласуется с результатами фотометрических наблюдений. В случае спиральной галактики $(B-V)_{\text{const}}$ должен быть меньше, чем принятый нами. Это приведет к увеличению Φ_V^{const} . При этом M_V увеличится по модулю (на 0^m25 при уменьшении $(B-V)_{\text{const}}$ до 1^m33) и выйдет за пределы допустимого для спиральных галактик интервала.

3. О быстрой переменности BL Lac. Важной характеристикой лацертид (как, впрочем, и других компактных внегалактических объектов) является скорость переменности, знание которой позволяет получить оценку линейных размеров области, ответственной за переменность. Наиболее обстоятельной работой, посвященной поискам переменности на коротких временных шкалах у лацертид, является работа Мура и др. [14], в которой даются результаты кооперативных наблюдений BL Lac в течение нескольких последовательных ночей. В этой работе надежно зафиксированы небольшие изменения поляризации и блеска в течение ночи.

Мы также несколько раз пытались обнаружить быструю переменность поляризации BL Lac, для чего вели непрерывные наблюдения объекта в течение нескольких часов. Для выяснения наших возможностей выявления быстрой переменности, по данным всех опубликованных в [1] наблюдений (выполненных без фильтров), были построены графики, дающие зависимость среднеквадратичных отклонений единичного измерения поляри-

зации $\sigma_1^{(p)}$ и блеска $\sigma_1^{(m)}$ (оценки блеска получены из поляризационных записей в качестве побочного продукта) от отношения n_{os}/n_ϕ , характеризующего до некоторой степени уровень блеска объекта и атмосферные условия наблюдения. На этих графиках (первый из них приведен на рис. 2) не видно систематического различия в положении точек, соответствующих наблюдениям, выполненным с разными диафрагмами, так что точность, по-видимому, зависит не столько от абсолютного уровня блеска,

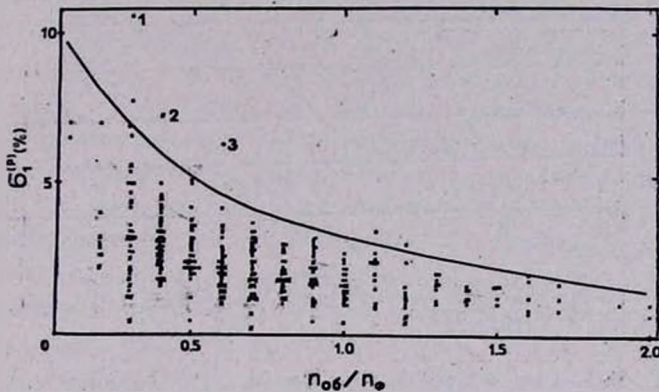


Рис. 2. Зависимость среднеквадратичных уклонений единичных оценок степени поляризации от отношения n_{os}/n_ϕ . Цифрами отмечены наблюдения: 1 — 1/2.X.1981 г.; 2 — 21/22.IX.1973 г.; 3 — 6/7.X.1978 г.

сколько от отношения n_{os}/n_ϕ , учитывающего и атмосферные факторы. Кривая на рис. 2 представляет собой верхнюю отгибающую основного массива точек; выше нее оказывается несколько точек с существенно большими значениями $\sigma_1^{(p)}$, чем у основной массы. Эти точки являются подозрительными на быструю переменность поляризации, так как при прочих равных условиях среднеквадратичные уклонения при наличии переменности должны быть выше.

Наиболее длительным из всех наших наблюдений оказалось наблюдение, выполненное 16/17.VIII.1974 г. (6 часов, 18 серий). На рис. 3 результаты для этой ночи представлены в графической форме. В первых двух полосах даются относительные параметры Стокса p_0 и p_{45} (в инструментальной системе отсчета углов), в третьей полосе — блеск $m_{отн}$ (с произвольным нуль-пунктом). Горизонтальные прямые дают средний уровень, вертикальные штрихи — среднеквадратичные уклонения. Для p_0 и p_{45} они составляют, соответственно, 2.7% и 1.7%, для блеска — 0.036. Ни в одной из полос максимальное уклонение отдельных точек от средней прямой не превышает 2σ . При отношении $n_{os}/n_\phi = 0.6$, как это было в данную ночь, среднее значение $\sigma_1^{(p)}$, согласно рис. 2, составляет около

2%, так что, если учесть еще, что положительные и отрицательные отклонения параметров Стокса распределены случайно, можно утверждать, что в ночь 16/17. VIII. 1974 г. поляризационной переменности зафиксировано не было. Среднее значение $\sigma_1^{(m)}$ при $n_{об}/n_{\phi} = 0.6$ составляет 0^m065 , поэтому то же самое можно сказать о переменности фотометрической.

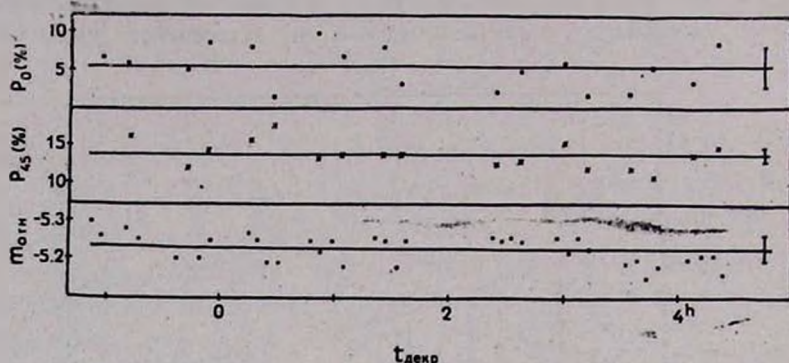


Рис. 3. Зависимость относительных параметров Стокса и блеска от времени наблюдения для 16/17. VIII. 1974 г.

Ясно, что из-за большой величины среднеквадратичных отклонений единичного измерения (что обусловлено использованием небольшого телескопа) мы имеем шансы зарегистрировать лишь сильные изменения. В

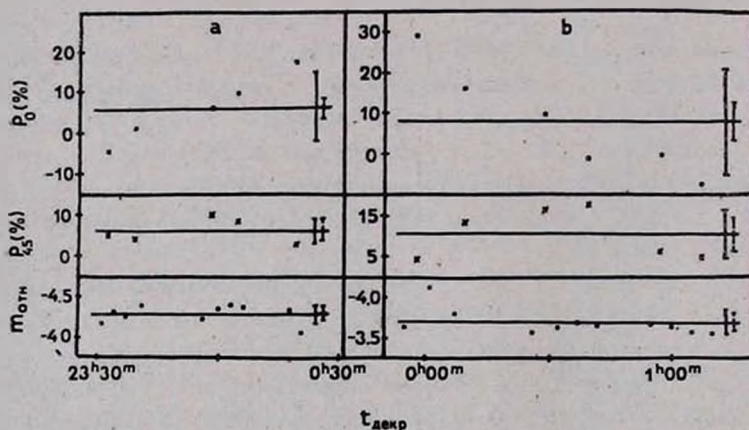


Рис. 4. Изменения со временем параметров Стокса и блеска; а) 6/7. X. 1978 г. и б) 1/2. X. 1981 г.

поисках свидетельств быстрой переменности нами были тщательно просмотрены все записи, в особенности те, для которых $\sigma_1^{(p)}$ и $\sigma_1^{(m)}$ существенно превышают средние значения. На основании этого изучения можно сделать вывод, что ни разу блеск BL Lac за время наблюдения не изме-

нился больше, чем на 0^m3 . Наиболее уверенное изменение было зафиксировано 4/5. IX. 1973 г., когда блеск за час уменьшился на 0^m3 (при неизменном уровне фона неба).

Обратимся теперь к поляризационной переменности. На рис. 2 выше кривой располагаются 6 точек. Как показал анализ, в трех случаях нет оснований утверждать, что увеличение $\sigma_1^{(p)}$ обусловлено переменностью. Из трех оставшихся наблюдений, то, которое выполнено 21/22. IX. 1973 г., состоит всего из трех серий, и, хотя переменность здесь можно заподозрить, мы не будем останавливаться на подробном анализе этого наблюдения. Данные для двух других (6/7. X. 1978 г. и 1/2. X. 1981 г.) графически представлены на рис. 4а, б. Здесь, как и на рис. 3, в последовательных полосах нанесены изменения со временем параметров Стокса и блеска. Указаны средние значения и среднеквадратичные отклонения. Прерывистые штрихи дают найденные по рис. 2 средние значения отклонений, соответствующие тем отношениям n_{0g}/n_0 , которые имели место при наблюдениях. Использование критерия Фишера [15] сравнения дисперсий (σ^2) показывает, что для первой полосы различие наблюдаемой и средней дисперсий статистически значимо на очень жестком уровне значимости 0.001.

Рассмотрение рис. 4 позволяет заключить, что нами дважды были зафиксированы сильные изменения одного из параметров Стокса за время порядка одного часа. Один раз это было систематическое увеличение параметра p_0 от -4.5% до $+17.5\%$, второй раз — уменьшение (тоже систематическое) от $+29.1\%$ до -6.8% . Трудно сказать определенно, сопровождались ли эти изменения изменениями блеска. 6/7. X. 1978 г. $\sigma_1^{(m)}$ лишь незначительно превышает среднее значение, в основном за счет последней точки, уклоняющейся вниз. Это отклонение скорее всего связано с приближением объекта к краю диафрагмы. 1/2. X. 1981 г. различия между среднеквадратичными отклонениями несколько больше, но также имеется одна сильно выделяющаяся точка. Правда здесь наблюдается увеличение блеска, так что найти инструментальную причину труднее. Возможно, что это изменение блеска реально, но так или иначе связь между изменениями относительных параметров Стокса и блеском не прослеживается.

Переменность с характерным временем 1 час дает оценку размера источника $R \leq 10^{14}$ см.

4. О наличии преимущественного направления поляризации у BL Lac. В своем обзоре [16] Энжел и Стокман указывают, что по характеру переменности направления поляризации лагертиды можно разделить на две группы: те, у которых имеется преимущественное направление поляризации, и те, у которых его нет. BL Lac они относят ко второй группе. Рассмотрение всех имеющихся сейчас данных (большую часть которых со-

ставляют полученные нами) показывает, что это не так. На рис. 5 представлено распределение наблюдаемых направлений поляризации. (Отметим, что хотя BL Lac находится на небольшой галактической широте, межзвездная поляризация для нее меньше, чем 0.8% [14], и ею можно пренебречь при анализе, поскольку наблюдаемая степень поляризации почти всегда высока). Штриховой линией нанесено распределение только по нашим данным (316 наблюдений), сплошной — распределение по всем

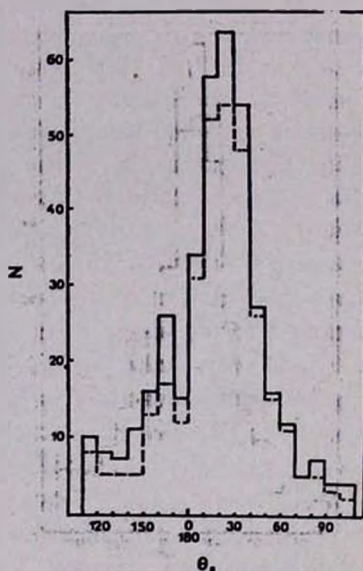


Рис. 5. Распределение наблюдаемых направлений поляризации у BL Lac.

известным нам наблюдениям (их 378). Нет никакого сомнения в том, что преимущественное направление имеется. В интервале углов от 0° до 50° располагается более двух третей всего массива данных. Среднее значение составляет около 20° . Правда встречаются и наблюдения с направлением поляризации вблизи 110° , но говорить, как это делается в [16], что у BL Lac «нет тенденции к наличию преимущественного направления», конечно нельзя. Наши данные более-менее равномерно распределены по наблюдательным сезонам и поэтому нет оснований считать, что найденное нами распределение, показывающее преимущественное направление, обусловлено тем, что наблюдения велись с большей частотой в те периоды, когда направление поляризации оказывалось в интервале 0° — 50° .

Более того, можно утверждать, что у BL Lac, как, например, и у OJ 287 [3], имеется связь между направлением поляризации и ее степенью. Соответствующая зависимость графически представлена на рис. 6, где точки относятся к нашим наблюдениям, крестики — к найденным на-

ми в литературе. Видно, что за исключением одной-двух точек высокие степени поляризации ($> 15\%$) встречаются лишь в окрестности области преимущественного направления поляризации, в интервалах же углов от 110° до 150° и от 60° до 110° степень поляризации в основном меньше 10% .

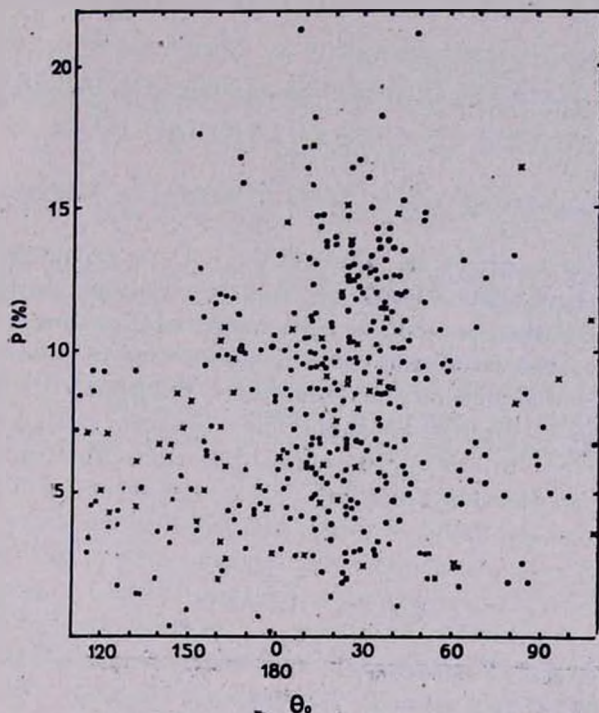


Рис. 6. Связь между степенью поляризации и ее направлением для BL Lac.

5. **Заключение.** Обсуждение полученных данных будет проведено после анализа корреляций между изменениями параметров поляризации и блеска на временных шкалах от нескольких дней до нескольких лет. Этому анализу будет посвящена следующая статья. Сейчас лишь кратко перечислим полученные результаты.

1. Анализ фотометрических данных говорит о том, что подстилающая галактика у BL Lac является гигантской эллиптической галактикой.

2. У BL Lac обнаружены сильные изменения поляризации на временных шкалах порядка 1 часа, вероятно при неизменном блеске. Такие изменения, однако, происходят крайне редко.

3. У BL Lac имеется преимущественное направление поляризации и существует связь между степенью поляризации и ее направлением: высо-

кие степени поляризации встречаются лишь при направлениях, близких к преимущественному.

Ленинградский государственный
университет

POLARIMETRIC AND PHOTOMETRIC STUDIES OF BL LAC. ANALYSIS OF OBSERVATIONAL DATA. I

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

The analysis is given of the results of polarimetric and photometric observations (1969—1982) of BL Lac published in [1]. Photometric data suggest the two-component model of the object: giant elliptical galaxy plus the point source. The point source varies in intensity while its energy distribution is invariable. Polarimetric data indicate that BL Lac has a preferable angle; the highest polarization always has directions close to this preferable direction. A strong variability of polarization on the time scales of 1 hour was observed but only twice in 316 cases.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Гаген-Торн, С. Г. Марченко, В. А. Яковлева, Астрон. ж., 61, 925, 1984.
2. J. Cholonowski, Acta Astron., 31, 253, 1981.
3. В. А. Гаген-Торн, Astrophys. Space Sci., 73, 279, 1980.
4. В. А. Гаген-Торн, Труды АО ЛГУ, 36, 20, 1981.
5. H. L. Johnson, Com. LPL, 3, 73, 1965.
6. D. Dapag, J. Schmitt, Ap. J., 156, L135, 1969.
7. J. S. Miller, H. B. French, S. A. Hawley, Ap. J., 219, L85, 1978.
8. T. H. Thaan, J. B. Oke, J. E. Gunn, Ap. J., 201, 45, 1975.
9. T. D. Kinman, Ap. J., 197, 49, 1975.
10. К. У. Аллен, Астрофизические величины, Мир, М., 1977, стр. 407.
11. A. E. Whiteford, Ap. J., 169, 215, 1971.
12. A. R. Sandage, Ap. J., 178, 1, 1972.
13. K. D. Rakos, N. Fiala, Astron. Astrophys., 124, L11, 1983.
14. R. L. Moore, J. T. McGraw, J. R. P. Angel et al., Ap. J., 260, 415, 1982.
15. Е. И. Пустыльник, Статистические методы анализа и обработки наблюдений, Наука, М., 1968, стр. 131.
16. J. R. P. Angel, H. S. Stockman, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 18, 321, 1980.