

УДК: 524.33—655

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

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

Поступила 16 апреля 1986

Принята к печати 20 июля 1986

Продолжен анализ результатов поляризационных и фотометрических наблюдений BL Lac за 1969—1982 гг., опубликованных в [1]. Найдено, что степень поляризации в среднем слабо коррелирует с блеском, но между ее направлением и блеском имеется определенная связь: при малом блеске встречаются только направления, близкие к преимущественному. Это согласуется с представлением о наличии в лаггертцах постоянно действующего поляризованного источника с направлением поляризации, определяющим преимущественное направление. Установлено, что на отдельных временных интервалах поведение BL Lac определяется переменными источниками со степенью поляризации $\approx 50\%$. Синхротронная природа этих источников не вызывает сомнения. Наличие преимущественного направления поляризации свидетельствует тогда о существовании у BL Lac стабильного магнитного поля.

1. *Введение.* Результаты наших поляризационных и фотометрических наблюдений BL Lac опубликованы в [1], а их анализ частично выполнен в работе [2], непосредственным продолжением которой является настоящая работа. В [2] по колориметрическим данным проведено разделение компонентов в двухкомпонентной модели (подстилающая галактика + переменный точечный источник), рассмотрена связь между параметрами поляризации и изучена быстрая переменность объекта. Здесь вначале будут сопоставлены изменения параметров поляризации и блеска на больших характерных временах, а затем будет проведено общее обсуждение.

2. *Долговременные изменения.* Начнем с сопоставления наблюдаемых параметров поляризации и блеска (напомним, что согласно [3] межзвездная поляризация мала и ее влиянием можно пренебречь). Это сопоставление графически представлено на рис. 1а, б, который построен в основном по данным таблицы в работе [1]. Небольшие различия связаны с тем, что для отдельных дат оценки блеска были уточнены по вновь появившимся литературным данным.

График на рис. 1а на первый взгляд представляет собой облако точек, но при внимательном его рассмотрении можно заметить, что имеется слабая тенденция к увеличению степени поляризации с уменьшением блеска. Для того, чтобы подчеркнуть это, на рисунке нанесены средние значения степени поляризации при усреднении по интервалам изменения блеска в 0^m4 (значки +). Картина на рис. 1б более четкая. Хорошо видно, что при малом блеске встречаются только направления, близкие к найденному нами в [2] преимущественному направлению поляризации ($\theta_0 \approx 20^\circ$). Проведенная на рисунке огибающая подчеркивает это обстоятельство.

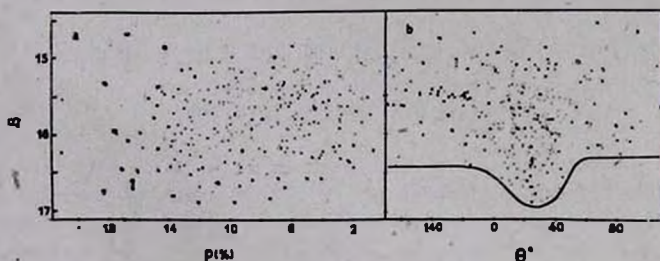


Рис. 1. Сопоставление наблюдаемых параметров поляризации с блеском. Крестики — данные, взятые из литературы.

Детальное сопоставление изменений блеска и поляризации представлено на рис. 2, дающем зависимость параметров Стокса от времени. При их определении предполагалось в соответствии с работами [4, 5], что у BL Lac параметры поляризации не зависят от длины волны (параметр I находился по величинам B , тогда как поляризационные данные, полученные без фильтра, относятся к более широкой области спектра). Величины B брались из работы [1], где дается блеск точечного источника; затем осуществлялся переход к потокам в соответствии с абсолютной калибровкой B -величин Х. Джонсона [6] и вносилась поправка для учета вклада подстилающей галактики в поток, регистрировавшийся при поляризационных наблюдениях, которые выполнялись с диафрагмами диаметром $27''$ и $19''$. Эта поправка была найдена по данным работы [7], в которой приведены результаты наблюдений BL Lac в полосе B с разными диафрагмами (считалось, что оценка блеска точечного источника соответствует диафрагме диаметром $7''$; тогда для диафрагм $27''$ и $19''$ поправки равны, соответственно, 0.26 мЯн и 0.18 мЯн (с ошибкой $\leq 10\%$)).

Рассмотрение рис. 2 позволяет сделать следующие заключения. Поведение параметров Стокса в разные годы различно в том смысле, что иногда между их изменениями нет видимой связи (например, в районе JD 2444500 параметр I показывает четкое уменьшение со временем, тогда как Q и U демонстрируют облако точек, и примерно такая же картина

имеет место в два предыдущие года), а иногда такая связь заметна (например, одновременное уменьшение параметров I и U в районе JD 2441900 и сходное поведение параметров I и Q в районе JD 2441200 и JD 2443000). Ясно, что в этих случаях фотометрическая переменность обусловлена переменностью компонентов, дающих поляризованное излучение.

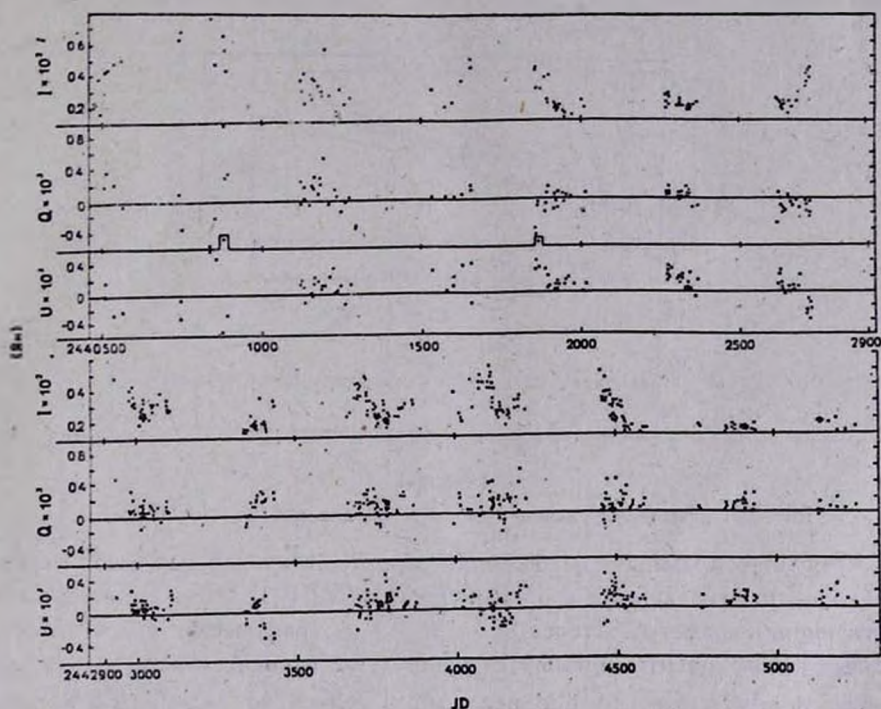


Рис. 2. Изменение параметров Стокса со временем.

На рис. 3 дается сопоставление параметров I , Q , U для 1973 г. (JD 2441860—2442014). Как было показано нами ранее [8], расположение наблюдаемых точек в пространстве параметров Стокса $\{I, Q, U\}$ на прямой линии может интерпретироваться как свидетельство существования в объекте источника поляризованного излучения, переменного по интенсивности, но с постоянными параметрами поляризации, который определяет поведение объекта на данном временном интервале. Направляющие тангенсы прямой дают относительные параметры Стокса p_x и p_y для этого источника. Если, несмотря на очень большой разброс точек, представить связи между параметрами I , Q и I , U прямыми, то их угловые коэффициенты дадут $p_x = -11.7\%$, $p_y = +10.1\%$; или $p = 15.5\%$, $\theta_0 = 70^\circ$ (ошибки этих величин $\pm 3.5\%$ и $\pm 7^\circ$). Таким образом, в среднем поляризационная и фотометрическая переменность в 1973 г. может быть объяс-

нена изменением интенсивности переменного компонента, степень поляризации которого составляла 15.5% при направлении 70° . Это, конечно, грубая оценка. Поскольку отклонения отдельных точек от прямой, вне всякого сомнения, существенно превышают ошибки наблюдений, в объекте должны были существовать источники с малыми характерными временами переменности.

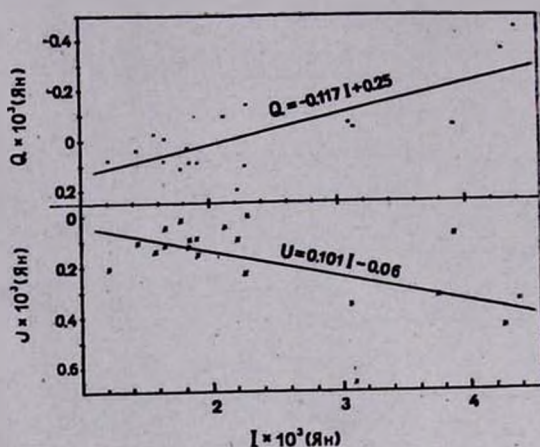


Рис. 3. Связь между параметрами Стокса для наблюдений 1973 г.

Лучшую корреляцию на больших характерных временах дают первые четыре точки, относящиеся к предыдущему, 1972 г. В табл. 1 даются соответствующие параметры Стокса, а на рис. 4 их графическое представление. Угловые коэффициенты прямых соответствуют относительным параметрам Стокса переменного компонента: $p_x = +22.4\%$, $p_y = +2.3\%$ ($p = 22.5\% \pm 1.6\%$, $\theta_0 = 3^\circ \pm 2^\circ$).

Таблица 1

ПОВЕДЕНИЕ BL Lac В ИНТЕРВАЛЕ
JD 2441535—630

ID 2441000+	$I \cdot 10^3$ Ян	$Q \cdot 10^3$ Ян	$U \cdot 10^3$ Ян
535	3.00	0.045	0.318
576	1.90	0.037	0.041
600	2.23	0.047	0.130
630	3.47	0.082	0.387

3. *Изменения с характерными временами порядка суток.* В таблице работы [1] имеются многочисленные серии наблюдений, содержащие данные для ряда последовательных ночей (иногда с просветом в 1—2 ночи). Рас-

смотрение траектории на плоскости $\{p_x, p_y\}$ точки, представляющей наблюдения в этих сериях, показывает, что в общем движение носит характер случайных блужданий (такой же вывод был сделан в [3] по результатам

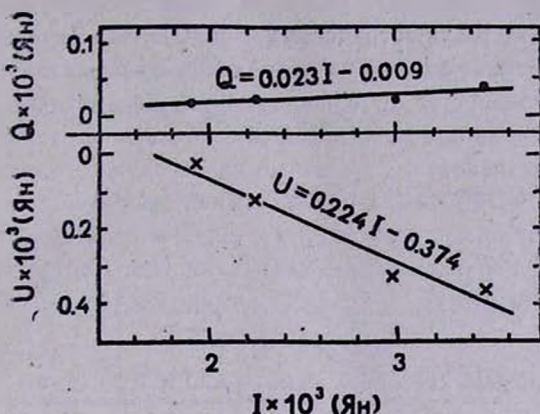


Рис. 4. Связь между параметрами Стокса для интервала JD 2441535—630.

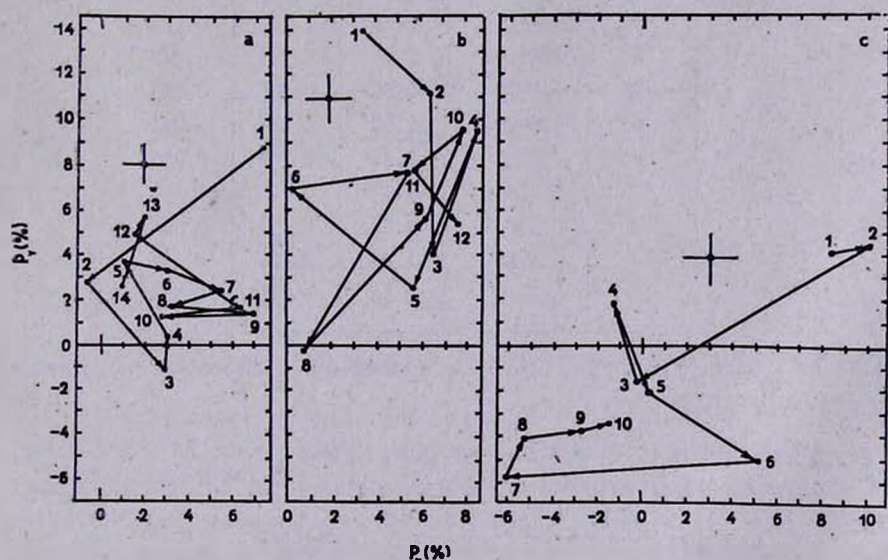


Рис. 5. Траектории на плоскости $\{p_x, p_y\}$ для трех серий наблюдений.

кооперативных наблюдений в течение недели в сентябре 1979 г.). Для примера на рис. 5 представлены траектории для трех серий: а) JD 2443011—27; б) JD 2443778—91; в) JD 2444131—45. На каждом графике указана характерная ошибка определения относительных параметров Стокса.

Можно заметить, однако, что иногда несколько последовательных точек располагаются (с учетом ошибок) вдоль прямой линии. Нетрудно понять, что такое расположение точек на плоскости $\{p_x, p_y\}$ является необходимым (но не достаточным!) условием того, что соответствующие им точки лежат на прямой в пространстве $\{I, Q, U\}$. Эти случаи, таким образом, являются подозрительными на возможность выделения отдельных переменных по интенсивности, но с постоянными параметрами поляризации источников, которые определяют поведение объекта на данном временном интервале. Проверка показала, что из тридцати случаев имеется два, когда в пространстве $\{I, Q, U\}$ вдоль прямой линии располагается не менее четырех точек, и несколько, когда их три. Два случая — это наблюдения 5—9 в серии (а) и наблюдения 7—10 в серии (б). Соответствующие данные для них собраны в табл. 2; графически они представлены (с указанием

Таблица 2

ПАРАМЕТРЫ СТОКСА ДЛЯ СЕРИЙ (а) И (б)

Серия	№ наблюд.	ID 2440000+	I мЯн	Q мЯн	U мЯн
(а)	5	3017	2.90	0.028	0.112
	6	3018	2.68	0.081	0.090
	7	3019	2.50	0.135	0.060
	8	3020	2.52	0.082	0.044
	9	3022	2.32	0.163	0.035
(б)	7	3786	2.11	0.119	0.164
	8	3787	1.72	0.012	-0.003
	9	3788	1.99	0.127	0.114
	10	3789	2.18	0.175	0.209

ошибок) на рис. 6. Уравнения прямых, проведенные способом наименьших квадратов, следующие:

$$\left. \begin{aligned} Q &= -0.226 (\pm 0.048) I + 0.683 (\pm 0.124) \\ U &= +0.148 (\pm 0.025) I - 0.298 (\pm 0.065) \end{aligned} \right\} \text{серия (а),}$$

$$\left. \begin{aligned} Q &= +0.324 (\pm 0.068) I - 0.542 (\pm 0.136) \\ U &= +0.450 (\pm 0.021) I - 0.779 (\pm 0.042) \end{aligned} \right\} \text{серия (б).}$$

Таким образом, для относительных параметров Стокса выделенных источников получаем:

$$\begin{aligned} \text{а) } p_x &= -22.6\% \pm 4.8\%, \quad p_y = 14.8\% \pm 2.5\% \\ (p &= 27.0\%, \quad \theta_0 = 73^\circ), \end{aligned}$$

b) $p_x = +32.4\% \pm 6.8\%$, $p_y = 45.9\% \pm 2.1\%$
 $(p = 55.5\%, \theta_0 = 27^\circ)$.

Значения степени поляризации получились того же порядка, что и у источника, выделенного нами ранее [9] у другой лацертиды — OJ 287 ($p = 42.8\%$). Отметим также, что в случае более высокой поляризации направление ее очень близко к преимущественному для BL Lac ($\theta_0 \approx 20^\circ$ по [2]).

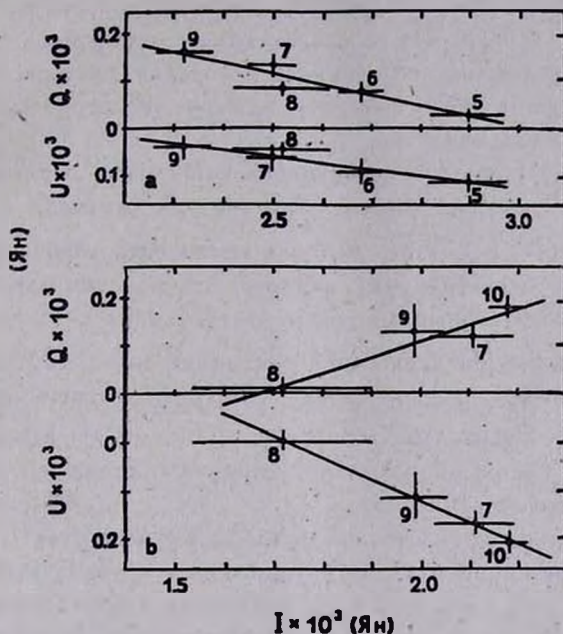


Рис. 6. К выделению быстрпеременных источников поляризованного излучения.

4. Обсуждение результатов анализа наблюдательных данных. Рассмотрение всей совокупности фотометрических и поляризационных данных свидетельствует о наличии у BL Lac переменности на временных шкалах от сотен дней и больше до десятков минут*. Переменность с характерным временем в 1 час указывает на существование в BL Lac источников размером $R \leq 10^{14}$ см.

* Необходимо отметить, что для одной из ночей, о которых говорилось в [2] (1/2. X. 1981 г.), сведения о сильной быстрой переменности оказались в противоречии с данными работы [10]. Повторный просмотр нашего наблюдательного материала показал, что мы не замечали записи в журнале наблюдений о плохих атмосферных условиях во время наблюдения. Поэтому настаивать на наличии в эту ночь сильной быстрой переменности мы не можем.

Мы уже указали, что переменность обусловлена наличием компонентов, дающих поляризованное излучение. Какова их природа? Рассмотрение всей совокупности полученных результатов позволяет утверждать, что это источники синхротронного излучения. Об этом говорит, во-первых, достаточно высокая (до 20%) наблюдаемая степень поляризации и еще более высокая ($\approx 50\%$) степень поляризации у отдельных выделенных нами источников. Как показывают расчеты (см., например, [11]), такие высокие степени поляризации недостижимы для электронного рассеяния в газовых дисках; лишь синхротронный механизм в состоянии их объяснить.

Во-вторых, в пользу синхротронного механизма говорит наличие быстрой переменности, которую можно в этом случае объяснить появлением или выключением отдельных источников; в моделях же с рассеянием для ее объяснения требуется очень быстрое изменение геометрии рассеивающих облаков, что крайне маловероятно.

Синхротронная природа переменного компонента подтверждается и анализом колориметрических данных. Как мы уже отмечали в [2], полученный нами цвет $(B-V)^{**}$ переменного компонента хорошо согласуется с найденным Я. Холоневским [12], который использовал для его определения другой наблюдательный материал. В [12] найден также и показатель цвета $(U-B)^{**}$. На двухцветной диаграмме точка, соответствующая переменному компоненту, располагается на прямой, дающей цвета синхротронного излучения. Спектральный индекс α ($F_\nu \sim \nu^{-\alpha}$) этого излучения оказывается ≈ 2 . Таким образом синхротронная природа переменного компонента не вызывает сомнения.

Коль скоро поляризация связана с синхротронным излучением, ее направление определяется направлением магнитного поля. Как было убедительно показано в [2], у BL Lac (как впрочем, и у других лацертид, например у OJ 287 [9]) имеется преимущественное направление поляризации. Это означает, что в объекте имеется устойчивое магнитное поле.

Вместе с тем, переменность направления поляризации у BL Lac не вызывает сомнения. В частности, среди выделенных нами отдельных источников имеются такие, у которых направление поляризации значительно отличается от преимущественного. Подобная картина наблюдается и у других лацертид [9, 13]. В [9] было установлено, что общее поляризационное и фотометрическое поведение OJ 287 можно объяснить наличием постоянно действующего источника поляризованного излучения (преимущественное направление это и есть направление поляризации для этого источника), на который накладываются источники с иными направлениями поляризации. Совместное рассмотрение рис. 6 в [2] и рис. 1а, б позволяет заключить, что аналогичная картина (хотя и менее отчетливая) имеет место и в случае BL Lac.

Выдвинутое нами в [9] представление о наличии у лацертид постоянно действующего источника поляризованного излучения было поддержано в работе [10], в которой этот источник был предположительно отождествлен с джетом. Мы согласны с этим предположением.

5. Заключение. Этой статьей мы заканчиваем анализ наших многолетних наблюдений BL Lac. Основным результатом этих исследований является установление синхротронной природы переменных источников и создание феноменологической модели лацертид с постоянно действующим источником поляризованного излучения. Этот материал вместе с данными наших работ [9, 13] дает фактические сведения для построения физических моделей лацертид, которому должны быть посвящены специальные работы.¹

Ленинградский государственный
университет

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

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

The analysis is continued of the results of polarimetric and photometric observations (1969—1982) BL Lac published in [1]. It has been found that at average little correlation exists between the degree of polarization and brightness, but polarization angles show the dependence on brightness: for low brightness only directions nearer to preferable exist. This fact is in agreement with the idea of existence in lacertids continuously acting polarized source; its polarization angle defines the preferable direction. At separate time intervals the behaviour of BL Lac is found to be determined by individual variable sources with very high polarization ($\approx 50\%$). Synchrotron nature of these sources is beyond doubt. The existence of preferable direction of polarization is then an indication of a stable magnetic field in BL Lac.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Гаген-Торн, С. Г. Марченко, В. А. Яковлева, Астрон. ж., 81, 925, 1984.
2. В. А. Гаген-Торн, С. Г. Марченко, В. А. Яковлева, Астрофизика, 22, 5, 1985.
3. R. L. Moore, J. T. McGraw, J. R. P. Angel et al., Astrophys. J., 260, 415, 1982.
4. N. Visvânathan, Astrophys. J., 179, 1, 1973.
5. Н. М. Шаховской, Ю. С. Ефимов, Изв. Крым. астрофиз. observ., 56, 39, 1977.
6. H. L. Johnson, Commun. LPL, 3, 73, 1965.

7. *T. D. Kinman*, *Astrophys. J.*, 197, L49, 1975.
8. *В. А. Гаген-Торн*, Тр. АО ЛГУ, 36, 20, 1981.
9. *В. А. Гаген-Торн*, *Astrophys. and Space Sci.*, 73, 279, 1980.
10. *G. Brindle, J. H. Hough, J. A. Batley et al.*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 214, 619, 1985.
11. *В. М. Лоскутов, В. В. Соболев*, *Астрофизика*, 23, 307, 1985.
12. *J. Choloniewski*, *Acta Astron.*, 31, 293, 1981.
13. *В. А. Гаген-Торн, С. Г. Марченко, Р. И. Смехачева, В. А. Яковлева*, *Астрофизика*, 19, 199, 1983.