

УДК: 524.335—54

НАБЛЮДЕНИЯ ФУОРОВ. II. КРИВАЯ БЛЕСКА V 1515 ЛЕБЕДЯ.
ФУРЬЕ-АНАЛИЗ МЕЛКОМАСШТАБНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

М. А. ИБРАГИМОВ, В. С. ШЕВЧЕНКО

Поступила 23 декабря 1988

Принята к печати 10 января 1990

Анализируются *UBVRI*-фотоэлектрические наблюдения фуора V 1515 Cyg, полученные за 486 наблюдательных ночей в 1981—1987 гг. Методом фурье-анализа найден квазипериод переменности $9^d.7$ или $19^d.4$ с амплитудой от $0^m.05$ до $0^m.30$ (в среднем $0^m.15$). По пластинкам ташкентской фототеки дополнительно получены фотометрические оценки блеска за период 1967—1970 гг. Из анализа сводной кривой блеска отмечены среднемасштабные изменения с амплитудой до 1.5 *B*. Оценены расстояние до фуора —1000 пк, его радиус—13 $R_{\odot}$ и светимость $M_V = -0^m.5 \pm 0^m.5$.

1. *Введение.* В [1] мы уточнили крупномасштабную кривую блеска фуора V 1057 Cyg и обратили внимание на вероятные 12-суточные квазипериодические изменения блеска с амплитудой порядка $0^m.1$ *V*. Настоящая работа посвящена фуору V 1515 Cyg, отличающемуся от FU Ori и V 1057 Cyg в частности тем, что амплитуда мелкомасштабных изменений блеска у него намного больше, а на крупномасштабной кривой блеска встречаются неправильные колебания, превышающие 1^m *B* в настоящей работе мы также проанализировали мелкомасштабную переменность и с помощью фурье-анализа нашли квазипериодическую переменность с характерным временем около $9^d.7$ и амплитудой $0^m.2$ *V*.

Рассмотрев кривую блеска V 1515 Cyg, приведенную Венцелом и Гесснером [2], Жербит [3] впервые отнес эту переменную к типу FU Ориона. Анализу фотографических наблюдений посвящена работа [4]. Сведения о первых фотоэлектрических наблюдениях V 1515 Cyg приведены также Ландольтом [5], Цветкова [6—8] по результатам фотографической *UBV*-фотометрии построила сводную кривую блеска за эпоху 1975—84 гг., обратив внимание на ослабление блеска 1980 г. Регулярные спектральные и фотоэлектрические *UBV*-наблюдения V 1515 Cyg начали с 1978 г. Петров и Колотилов [9—11], на телескопах КрАО АН СССР и Южной стан-

ции ГАИШ. Они привели новые определения спектрального класса V 1515 Cyg и ряд *UBV*-измерений 1978—1982 гг.

Фотоэлектрическая *UBVR(i)*-фотометрия этого фуора ведется в Высокогорной майданакской экспедиции АИ АН Узб.ССР с 1981 г. [12]. Плотные ряды наблюдений получены на Майданаке в 1983, 1984, 1985, 1986 и 1987 гг. Эти ряды, содержащие существенную мелкомасштабную составляющую, были проанализированы на ЭВМ по программам фурье-анализа, причем найден 9-суточный квазипериод. Мы также оценили радиус и светимость фуора и уточнили крупномасштабную кривую блеска.

2. *Фотографические наблюдения 1967—1970 гг. и крупномасштабная кривая блеска.* Сводная кривая блеска, приведенная Хербигом [3], кроме большой дисперсии вблизи максимума блеска и очень медленного крупномасштабного подъема, продолжавшегося с 1947 г. по 1952 г., имеет еще ряд отличий от «классических» фуоров FU Ori и V 1057 Cyg, так что некоторые авторы высказывали сомнения в принадлежности этой звезды к классу фуоров. Воспользовавшись данными [2—12], мы также построили сводную кривую блеска V 1515 Cyg, усреднив все имеющиеся фотографические и фотоэлектрические наблюдения в системе *B* за каждый год. Два ряда фотографических наблюдений, приведенных Хербигом [3], усреднены. Поскольку в нашем распоряжении оказались пластинки, полученные на ташкентском короткофокусном астрографе в 1967—1970 гг., мы дополнительно получили оценки блеска за этот период.

Применявшийся инструмент и система эмульсия — фильтр для реализации фотометрической системы m_{pg} описаны в [1]. Оценки блеска фуора V 1515 Cyg проводились по тем же пластинкам, по которым в [1] оценивались величины фуора V 1057 Cyg, который на этой серии пластинок находился вблизи центра пластинки. Переменная V1515 Cyg оказывалась у самого края. Поэтому из-за ограничения рамкой фильтров не удалось получить оценки m_{pv} и m_{rg} , и к тому же при предельной величине на пластинках $\sim 15^m$ индивидуальная ошибка в оценке блеска достигает $\pm 0^m.2$. По усреднении же 5—50 измерений значения имеют ошибку менее $0^m.1$. Ниже приводятся усредненные по годам результаты фотографической фотометрии V 1515 Cyg по пластинкам фототеки АИ АН Узб.ССР.

Таблица 1

Год	m_{pg}	$n-m$
1967	13 ^m .8	26—18
1968	13.7	51—34
1969	13.5	5—4
1970	13.7	17—5

В последней колонке первое число n обозначает общее количество наблюдений, второе m — число ночей, по которому произведено усреднение. На рис. 1. приведена сводная кривая блеска V 1515 Cyg, построенная авторами по опубликованным до 1988 г. наблюдениям. Из этого рисунка следует, что в эпоху 1967—70 гг. звезда

продолжала медленно повышать свой блеск до максимального уровня $13^m.5$ в 1969 г. Затем, в 1970 г. произошло незначительное ослабление блеска фуора на $0^m.2$. Чередование подъемов и спадов блеска, как видно из рис. 1, является весьма характерной особенностью фотометрического поведения звезды как в период крупномасштабного подъема блеска, так и в после-максимальный период, который, по-видимому, начался у звезды в 1974 г.

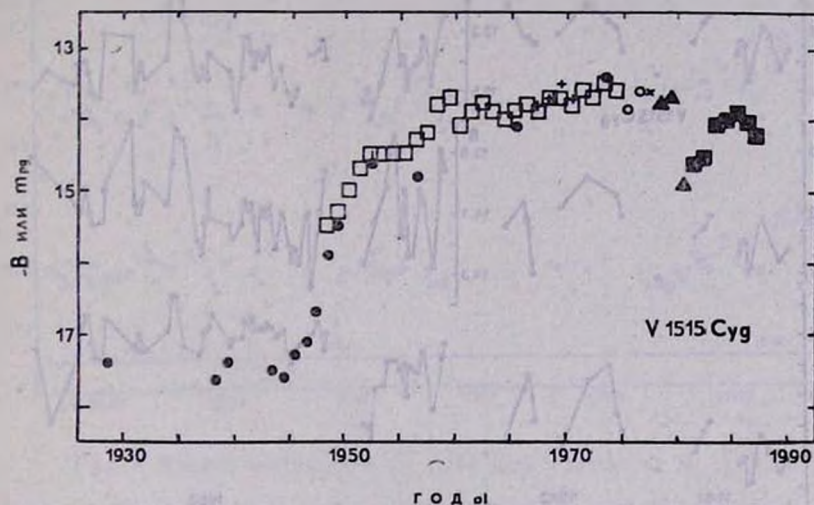


Рис. 1. Сводная кривая блеска V 1515 Cyg в фотографических лучах, построенная по данным Венцеля, Гесснера, Хоффлята [2, 3] — □. Готтлиба, Лиллера [4] — ●, Стона [3] и Ландольта [5] — ○. Цветковой [6—8] — ×, Колотилова и Петрова [9—12] — ▲. Фотографические оценки авторов обозначены — +, а фотоэлектрические — ■.

3. Фотоэлектрические наблюдения 1981—1987 гг. Регулярная программа фотоэлектрических *UBVR*-наблюдений фуора V 1515 Лебедя в АИ АН Узб.ССР ведется с 1981 г. на горе Майданак на 0.6-м рефлекторе Цейсса и 0.48-м рефлекторе АЗТ-14 Высокогорной экспедиции АИ АН Узб.ССР с идентичными фотометрами на счете импульсов. Кроме авторов в фотоэлектрических наблюдениях по одной программе принимали участие Л. Н. Бердников, А. В. Безверхов, В. П. Кулешов, С. Ю. Мельников, Э. Г. Тимофеев, А. В. Чернышев, А. Ф. Шаймиева, Н. А. Шутекова и С. Д. Якубов. Всего с 1981 г. по конец 1987 г. получено 486 фотоэлектрических оценок блеска фуора. Точность значений величин *U, B, V, R* определялась статистикой импульсов в этих полосах. В связи с малой статистикой импульсов в полосе *U* ошибка в определении цвета (*U—B*) достигает $0^m.09$ (в среднем $\pm 0^m.035$), тогда как погрешности в определении

цветов ($B-V$) и ($V-R$) составляют соответственно $0^m.02$ и $0^m.01$. Кривые блеска в полосах B , V , R для периода 1981—86 гг. приведены на рис. 2—4.

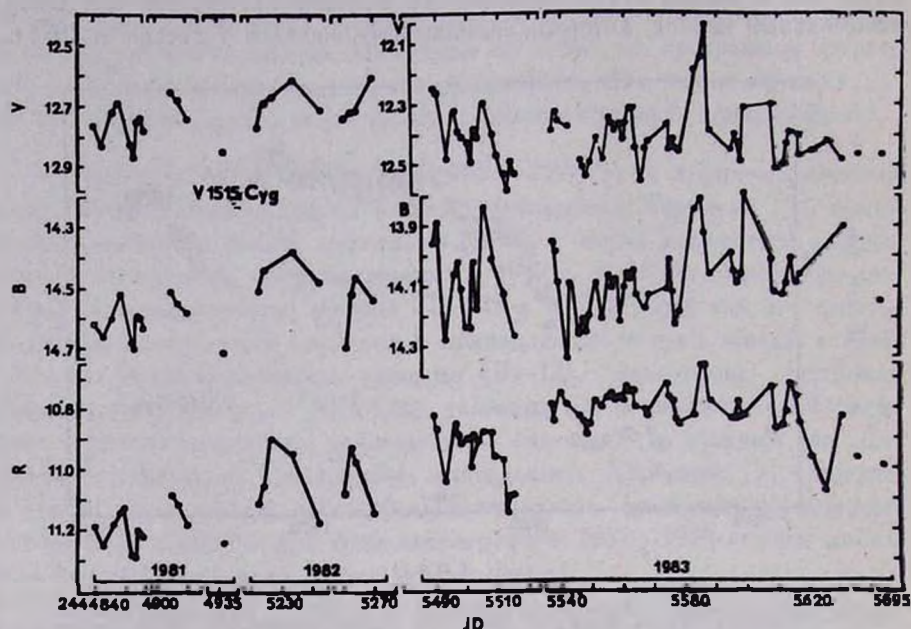


Рис. 2. Кривые блеска фюора V 1515 Cyg в фильтрах B , V , R .

Наши фотоэлектрические измерения охватывают период подъема блеска V 1515 Лебедя, последовавшего вслед за сильным ослаблением звезды на ~ 1.5 B , (см. рис. 1) в 1980 г. [6, 10, 11]. На фоне отмеченного неуклонного подъема блеска звезды хорошо заметны его мелкомасштабные квазипериодические изменения, присутствующие во все сезоны наблюдений.

В 1983 и 1985 гг. амплитуда мелкомасштабных изменений достигает $0^m.4$ V . Ниже мы приводим сводку наблюдений 1981—1987 гг.

Для оценки изменений в цвете ($U-B$) мы отбрасывали по 2 минимальных и максимальных значения ($U-B$), а также те значения, которые основаны на малой статистике импульсов.

На самом деле можно заподозрить из анализа кривой блеска V 1515 Cyg, построенной по фотографическим и фотоэлектрическим наблюдениям 1966—1987 гг., существование среднемасштабных изменений блеска с амплитудой около 1^m и характерным временем около 7 лет. В мелкомасштаб-

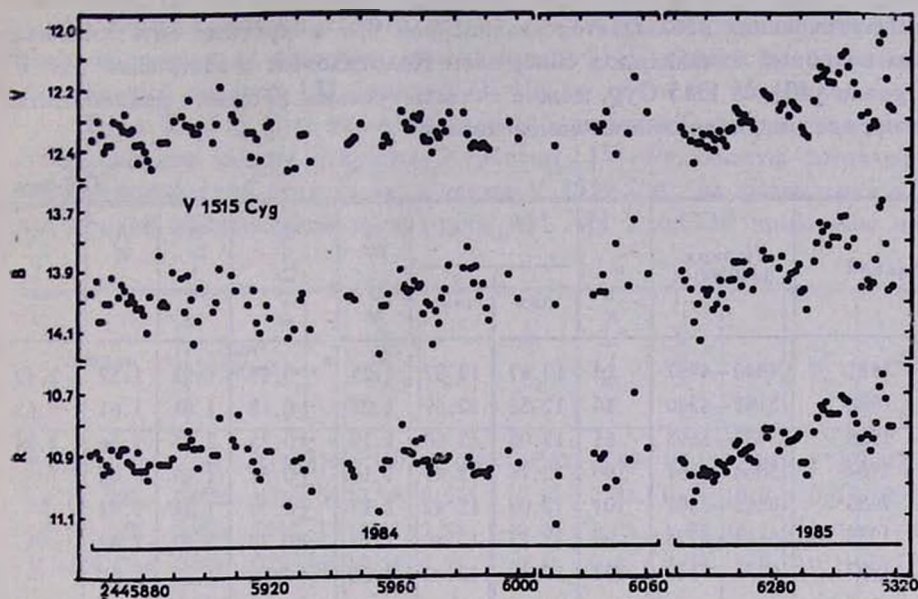


Рис. 3. Кривые блеска фусра V 1515 Cyg в фильтрах B, V, R.

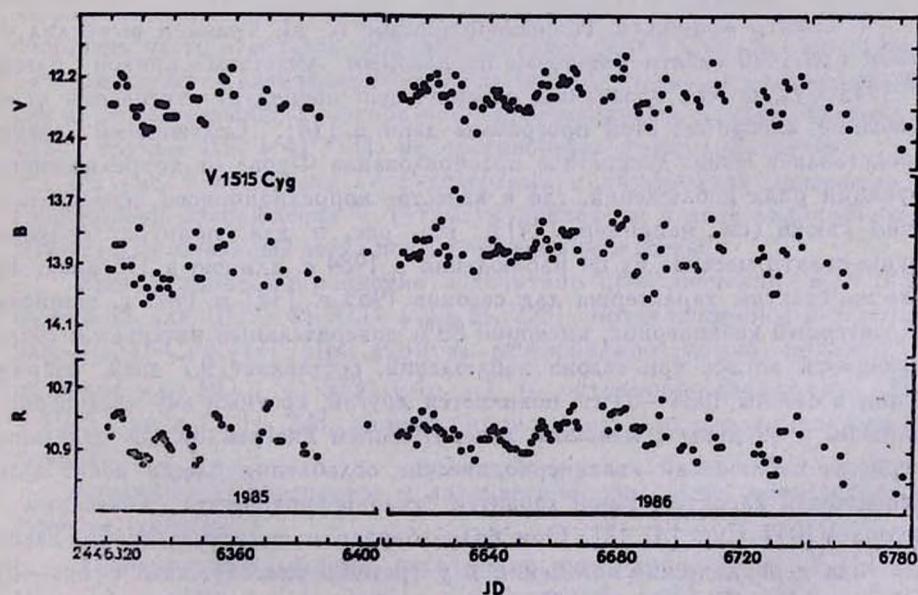


Рис. 4. Кривые блеска фуора V 1515 Cyg в фильтрах B, V, R.

ных изменениях наблюдается квазипериод $9^d.7$ и кратные ему. Учитывая, что подобный квазипериод обнаружен Колотиловым и Петровым для FU Ориона [13], V 1515 Cyg, можно считать третьим фуором с мелкомасштабными квазипериодическими изменениями.

Таблица 2

Год	Период 2440000+	n	V		$<U-B>$	$\Delta <U-B>$	$<B-V>$	$\Delta <B-V>$	$<V-I>$
			max	min					
1981	4840—4937	14	12.67	12.87	1.25	± 0.25	1.92	1.57	2.42
1982	5192—5240	10	12.52	12.69	1.23	± 0.18	1.81	1.61	2.63
1983	5487—5695	61	12.06	12.60	1.19	± 0.28	1.75	1.56	2.54
1984	5864—6061	100	12.16	12.47	1.16	± 0.32	1.67	1.46	—
1985	6252—6402	101	12.02	12.42	1.17	± 0.19	1.64	1.44	—
1986	6612—6776	98	12.13	12.40	1.15	± 0.23	1.62	1.42	—
1987	6956—7125	102	12.40	12.62	1.22	± 0.18	1.68	1.60	—
Итого:	4840—7125	486	12.02	12.87	1.19	± 0.95	1.69	1.50	2.53

4. *Спектр мощности.* По нашей просьбе К. Н. Гранкин вычислил на ЭВМ СМ-1420 спектр мощности по плотным участкам кривой блеска V 1515 Cyg по его программе, реализующей процедуру стягивания окна; описание алгоритма этой программы дано в [14]. Сглаженный спектр представляет собой дискретное преобразование Фурье от корреляционной функции ряда наблюдений, где в качестве корреляционного использовано окно Тьюки (см., например, [14]). На рис. 5 для примера приведен фурье-спектр массива из 84 наблюдений в 1984 г. длиной в 138 дней. Такие же спектры характерны для сезонов 1983 г. [12] и 1985 г. Наиболее характерный квазипериод, имеющий 80% доверительный интервал и сохраняющийся во все три сезона наблюдений, составляет 9.7 дней. Наряду с ним в сезоны 1984—85 гг. появляется другой, кратный ему квазипериод, близкий к 19 дням с меньшим доверительным интервалом. В отдельные периоды наблюдений квазипериодические ослабления блеска носят алгоподобный характер. Иной характер квазипериодических колебаний у фуора V1057 Cyg [1, 12]. Они более близки к синусоидальным. Такого же типа периодические колебания и у третьего классического фуора—FU Ориона [13]. Таким образом, мелкомасштабная переменность с квазипериодом от 10 до 20 дней, видимо, является характерной чертой послеспешечного фотометрического поведения фуоров.

5. Оценка радиуса и светимости V 1515 Cyg. Эта оценка может быть сделана, поскольку известен спектр звезды [11], причем по сравнению с предыдущей оценкой [3] (ранний GI-II) он почти не изменился.

Фуор V 1515 Cyg является членом компактной группы, содержащей 3 эмиссионные звезды, открытые Хербигом [15]. Результаты фотоэлектрических фотометрий этих звезд, а также V 1515 Cyg, на фотометрах в Высокоточной майданакской экспедиции АИ АН Узб.ССР приведены ниже.

Таблица 3

Звезда	Эпоха 2440000+	n	$\angle V$	ΔV	$\angle U-B$	$\angle B-V$	$\angle V-R$	V_0	M_V	Sp
BD+41°3731	5847—7125	410	9 ^m 887	0 ^m 026	-0 ^m 47	0 ^m 08	0 ^m 13	8 ^m 9	-1 ^m 1	B2—3
Lk H _α 228	6628—6730	36	12.96	0.085	0.21	0.83	0.77	10.0	0.0	B9?
Lk H _α 229	6630—6712	11	16.11	2.34	-0.86	1.03	1.72	15.	+5.0	—
V 1515 Cyg	4840—7125	486	12.35	0.85	0.49	0.85	0.80	9.5	-0.5	G 2—5: I—II

Для V 1515 Cyg в последней строке приведены показатели цвета, исправленные за межзвездное покраснение, либо за покраснение в оболочке. По-видимому, группировка, содержащая фуор V 1515 Cyg, входит как составная часть в область звездообразования RSF4 Cyg A [16], центром которой является скопление NGC 6910. В этом случае расстояние до области и, соответственно, до фуора — 1 кпк. Результаты, взятые отдельно для малой группы BD + 41°3731, не противоречат этому расстоянию.

На рис. 6 приведена Г—Р-диаграмма и двухцветная диаграмма для группировки. Наблюдения V 1515 Cyg приведены в виде индивидуальных точек, а для остальных звезд все наблюдения усреднены.

Межзвездное покраснение рассчитано при значении $R_0 = 3.30$ и $R_0 = 3.35$ для BD + 41°3731 и Lk H_α 228, соответственно, и $R_0 = 3.58$ для V 1515 Cyg [17]. При этом за межзвездное можно принять покраснение для BD + 41°3731 ($A_V = 1^m$), остальное поглощение света V 1515 Cyg и Lk H_α 228, видимо, происходит в их околосветных оболочках.

Анализ Г—Р-диаграммы и двухцветной диаграммы приводит к следующим выводам:

1) Вероятный модуль расстояния до группировки V 1515 Cyg $V_0 - M_V = 10^m 0$, тогда светимость V 1515 Cyg $M_V = -0^m 5 \pm 0^m 5$, а радиус $R = 13 \pm 2 R_\odot$. Физическая светимость фуора находится между II и III классами, в то время как светимость, оцениваемая формально

по интенсивности специфических линий [11], может относиться к более высокому классу (I—II). Такое явление уже отмечалось у Ae/Be-звезд Хербига [12].

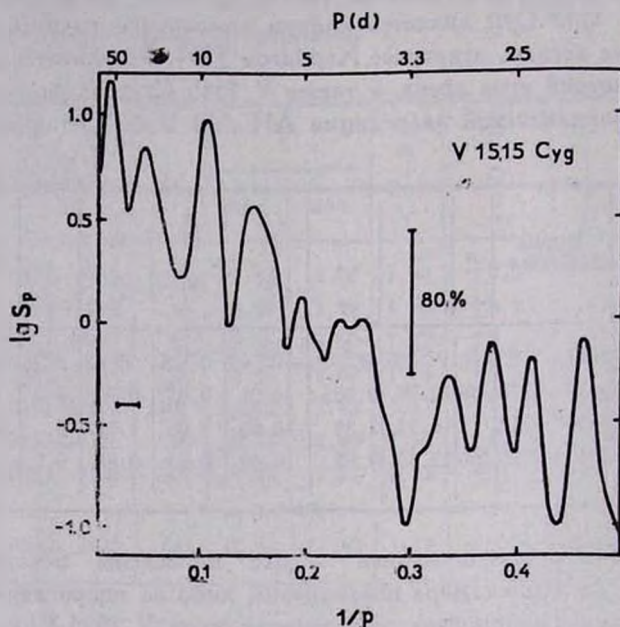


Рис. 5. Характерный спектр мощности фурора V 1515 Cyg для массива из 84 наблюдений длиною в 138 дней в 1984 г. Горизонтальный отрезок указывает размер окна, а вертикальный — 80% доверительного интервала, с которым проводился расчет данного спектра мощности.

2) Мелкомасштабные и среднемасштабные изменения блеска V 1515 Cyg происходят, вероятнее всего, за счет изменения поглощения в оболочке, причем закон поглощения в оболочке близок к нормальному ($R_0 = 3.6$ для G 2I). Поглощение в оболочке меняется в пределах $1^m < A_V < 2^m.5$, в то время как межзвездное поглощение близко к 1^m .

3) Квазипериодическая составляющая $9^d.7$ или 19^d связана, скорее всего, с вращением оболочки, в которой поглощение неравномерно и меняется со временем. При вращении звезды с горячими или холодными пятнами должно наблюдаться изменение спектрального класса. Тот факт, что даже при существенном понижении блеска ($\Delta V > 1^m$) спектр звезды не изменился [11], свидетельствует в пользу первой возможности.

4) Дисперсия в цвете ($U-B$) связана с изменением характеристик газовой-пылевой оболочки. Вклад ее более определенно можно оценить про-

ведя совместные фотометрические, поляриметрические и спектральные наблюдения в широком спектральном интервале.

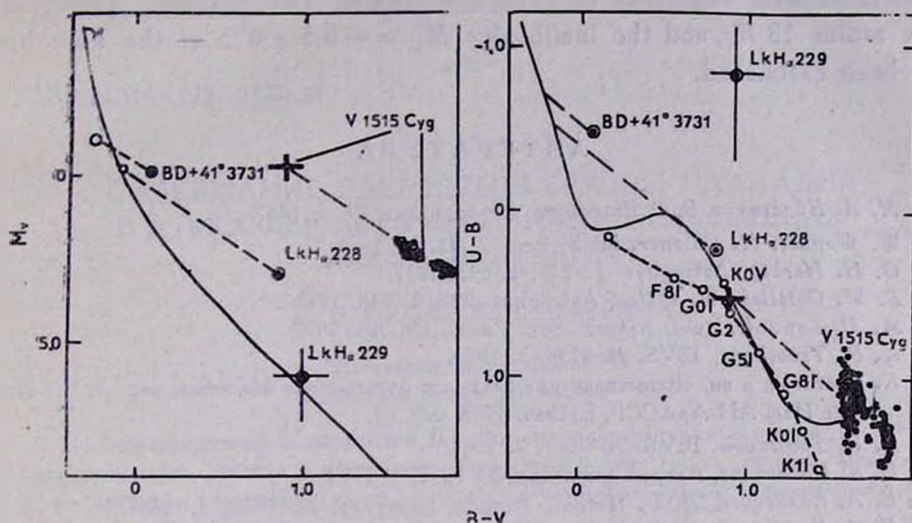


Рис. 6. Г—Р-диаграмма и двухцветная диаграмма для звезд группировки, включающей фуор V 1515 Cyg. Сплошной линией обозначена Главная последовательность. На двухцветной диаграмме приведена также и последовательность звезд I класса светимости (жирные штрихи). Штриховой линией показана линия нарастающего покраснения.

5) Возможно, в среднемасштабных изменениях блеска ($\Delta V \approx 1^m$) также присутствует квазипериодический член ($P \approx 7$ лет).

Авторы благодарят астрономов, принимавших участие в фотометрических наблюдениях на горе Майдабак в 1981—1988 гг., а также И. А. Бедулеву и З.И. Дмитриеву, оказавших помощь в подготовке рукописи.

Астрономический институт
АН Узб.ССР

OBSERVATIONAL STUDY OF FUORS II. THE LIGHT CURVE OF V 1515 CYGNI. FOURIER ANALYSIS OF SMALL AMPLITUDE VARIABILITY

M. A. IBRAGIMOV, V. S. SHEVCHENKO

$UBVR(i)$ — photometry of the Fuor V 1515 Cyg obtained by 486 observational nights in 1981—1987 is analysed. By Fourier-analysis method quasiperiodical variability $9^d.7$ or $19^d.4$ with amplitude $0^m.05$ to $0^m.30$ (in the average $0^m.15$) have been found. Photometric values in 1967—1970 from Tashkent's plates have been added.

onally obtained. From the analysis of total light curve average scale variations with amplitude to 1^m5B are shown. The distance 1000 pc, the radius $13 R_{\odot}$ and the luminosity $M_v = -0.5 \pm 0^m5$ of the Fuor have been estimated.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Ибрагимов, В. С. Шевченко, *Астрофизика*, 27, 5, 1987.
2. W. Wenzel, H. Gessner, *MVS*, 7, h. 2, 23, 1975.
3. G. H. Herbig, *Astrophys. J.*, 217, 1, 693, 1977.
4. E. W. Gottlieb, W. Liller, *Astrophys.* 225, 1, 448, 1978.
5. A. U. Landolt, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 89, 704, 1977.
6. К. Р. Тsvetkova, *IBVS*, № 2236, 3, 1982.
7. К. Цветкова, в кн. «Вспыхивающие звезды и родственные объекты», ред. Л. В. Мирвоян, Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1986, стр. 84.
8. К. Р. Тsvetkova, *IBVS*, № 2617, 2, 1984.
9. Е. А. Колотилов, *Астрон. циркуляр*, № 1037, 1, 1979.
10. Е. А. Колотилов, П. П. Петров, *Астрон. циркуляр*, № 1167, 1, 1981.
11. Е. А. Колотилов, П. П. Петров, *Письма в Астрон. ж.*, 9, № 3, 171, 1983.
12. В. С. Шевченко, в кн. «Вспыхивающие звезды и родственные объекты», ред. Л. В. Мирвоян, Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1986, стр. 230.
13. Е. А. Колотилов, П. П. Петров, *Письма в Астрон. ж.*, 11, 846, 1985.
14. Г. Дженкинс, Д. Ваттс, «Спектральный анализ и его приложения», Мир, М., 1971.
15. G. H. Herbig, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 4, 337, 1960.
16. В. С. Шевченко, *Астрон. ж.*, 56, 297, 1979.
17. В. Л. Страйжис, *Многоцветная фотометрия звезд*, Изд-во Мокслас, Вильнюс, 1977.