

УДК 524.338.7—563

ЦИКЛИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ БЛЕСКА R Cr В И ИХ СВЯЗЬ
С НЕПЕРИОДИЧЕСКИМИ ОСЛАБЛЕНИЯМИ ЯРКОСТИ

Р. И. ГОНЧАРОВА, Г. У. КОВАЛЬЧУК, А. Ф. ПУГАЧ

Поступила 15 декабря 1981

Принята к печати 27 января 1983

Методом статистического спектрального анализа мощности излучения R Северной Короны обнаружены три гармонические составляющие переменности с периодами: $P_1 = 53^d.64$; $P_2 = 39^d.96$ и $P_3 = 27^d.36$. Одна из них синхронизирует моменты начала глобальных и вторичных ослаблений блеска, что усиливает физическое сходство между R Cr В и RY Sgr.

1. *Введение.* Почти полстолетия назад кривая блеска звезды R Северной Короны была названа образцом «идеально неправильной переменности» [1] и до сих пор скрупулезные поиски закономерностей в наступлении глобальных изменений блеска не поколебали справедливости этого утверждения [2, 3, 4]. Ослабления блеска R Cr В и других переменных этого типа имеют разную глубину, форму, продолжительность и наступают в непредсказуемые моменты времени [5].

Ощутимый прогресс в фотометрическом исследовании звезд типа R Coropae Vorealis (R CB) был связан с обнаружением полуправильных пульсаций (ППП) яркости, наблюдаемых на нисходящих и восходящих ветвях кривой блеска и в нормальном состоянии. В настоящее время известно 14 звезд типа R CB с продолжительностями циклов пульсации от 34 до 120 дней и с амплитудами в несколько десятых долей звездной величины [5].

Повышенный интерес к изучению ППП возник в связи с обнаружением у наиболее исследованной звезды этого типа — RY Стрельца — двух фактов. Во-первых, выяснилось, что глобальные ослабления блеска (ГОБ) не оказывают влияния ни на фазу, ни на период ППП RY Sgr, и поэтому после выхода из очередного минимума ее пульсации продолжают так, как если бы ослабления блеска не происходило [4, 6]. Во-вторых, оказалось, что сами пульсации синхронизируют моменты начала глобальных ослаблений блеска и, следовательно, эти моменты должны отстоять друг

от друга на интервал, кратный среднему периоду пульсаций [7]. Таким образом, у RY Sgr пульсационный процесс выступает в роли первичного по отношению к основному процессу переменности — глубоким минимумам.

2. *Постановка задачи.* Попытка решить аналогичную задачу для R CgV, т. е. найти связь между ППП и ослаблениями блеска, осложнялась тем обстоятельством, что для нее не было известно значение периода пульсаций, даже несмотря на то, что в фотометрическом отношении R CgV изучена лучше других R CB. Полуправильные колебания блеска R CgV были замечены еще в начале века [8] и детально изучались впоследствии [3], но из-за малой доли точных фотополетрических наблюдений [9—11] неопределенность в величине продолжительности цикла достигала 10 дней (от 34 до 44 дней). Разброс значений P объяснялся не только малочисленностью точных наблюдений, но и фотометрическими особенностями самой переменной: хорошо видимые иногда на кривой блеска волны через некоторое время замываются и исчезают, сменяясь неправильными флуктуациями блеска гораздо меньшей амплитуды. В связи с этим возникла необходимость продлить имевшиеся ряды фотополетрических наблюдений и применить для их анализа современные статистические методы.

3. *Наблюдательный материал.* Наблюдения R CgV проводились в 1977—81 гг. с помощью фотополетрического фотометра, установленного на 50-см телескопе Высокогорной наблюдательной базы ГАО АН УССР на пике Терскол ($h = 3150$ м). В качестве объекта сравнения использовалась звезда HD 141714 = BD + 28° 2475, у которой $V = 7.45$, $B - V = 0.44$. Кроме того, к анализу были привлечены опубликованные к 1980 г. наблюдения других авторов, которые в совокупности дали возможность построить сводную кривую блеска R CgV за период с 1962 г. по 1981 г.

Результаты наших наблюдений приведены в табл. 1 и частично проиллюстрированы на рис. 1. Из них видно, что нерегулярные в целом колебания блеска сменяются в интервале дат JD 2444105 — ... 154 хорошо выраженной единичной волной с наибольшей из до сих пор опубликованных амплитудой $\Delta m_v = 0^m.35$ и продолжительностью цикла около 45 дней.

Сравнение этих наблюдений с ранее полученными результатами фотополетрических измерений в максимуме блеска [9, 11—13] дает возможность увидеть характерную особенность кривой блеска R CgV — появление в отдельные отрезки времени на фоне неправильных колебаний четких единичных волн с величиной кажущегося периода в несколько десятков дней, причем форма волны быстро искажается и не сохраняется на протяжении последующих нескольких месяцев (см., например, рис. 2).

В связи с этим было высказано предположение, что вышеописанная форма кривой блеска — результат сложения нескольких колебаний с со-

поставимыми периодами, приводящего к интерференции. Для проверки предположения, с целью извлечения из суммарной кривой блеска R CrB возможных скрытых периодических составляющих, наблюдения были подвергнуты Фурье-анализу.

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ
R CrB

| JD | V | n | JD | V | n |
|-------------|--------------------|---|-------------|--------------------|---|
| 2443 191.54 | 6 ^m .50 | 2 | 2444 113.23 | 5 ^m .97 | 2 |
| 195.59 | 6.76 | 2 | 114.27 | 5.97 | 3 |
| 196.54 | 6.83 | 2 | 115.23 | 5.99 | 2 |
| 197.50 | 7.13 | 2 | 118.25 | 5.99 | 1 |
| 200.52 | 7.32 | 2 | 119.22 | 5.99 | 1 |
| 574.53 | 6.65 | 2 | 123.27 | 5.94 | 1 |
| 579.47 | 6.63 | 3 | 131.19 | 5.70 | 1 |
| 583.53 | 6.63 | 4 | 137.24 | 5.67 | 2 |
| 586.56 | 6.62 | 2 | 138.22 | 5.64 | 3 |
| 936.53 | 5.93 | 2 | 139.22 | 5.65 | 4 |
| 961.61 | 5.94 | 2 | 142.21 | 5.70 | 2 |
| 963.64 | 5.98 | 2 | 152.20 | 5.84 | 3 |
| 969.59 | 5.89 | 2 | 154.22 | 5.91 | 2 |
| 2444 028.34 | 5.78 | 2 | 280.57 | 5.76 | 2 |
| 066.31 | 5.83 | 3 | 281.61 | 5.72 | 5 |
| 075.37 | 5.76 | 1 | 290.60 | 5.74 | 2 |
| 085.27 | 5.80 | 2 | 291.59 | 5.74 | 3 |
| 088.41 | 5.67 | 2 | 292.58 | 5.81 | 2 |
| 104.34 | 5.85 | 3 | 294.60 | 5.72 | 5 |
| 105.32 | 5.84 | 1 | 295.62 | 5.74 | 2 |
| 106.30 | 5.83 | 1 | 296.59 | 5.74 | 1 |
| 107.29 | 5.89 | 9 | 352.46 | 5.72 | 3 |
| 108.31 | 5.87 | 7 | 353.41 | 5.71 | 1 |
| 110.27 | 5.91 | 3 | 384.31 | 5.86 | 1 |
| 112.27 | 5.98 | 3 | 390.30 | 5.84 | 2 |

4. Поиск периодов. Применялся модифицированный метод Барга, который хорошо себя зарекомендовал при анализе в ГАО АН УССР рядов широтных наблюдений [14]. Обладая некоторыми недостатками: а) требование отсутствия пробелов в анализируемых рядах; б) отсутствие очевидного соотношения между высотой спектрального пика и рассеиваемой мощностью, что требует привлечения дополнительных алгебраических ме-

тодов для определения амплитуд гармонических составляющих; в) небольшое, в пределах 5—10%, смещение по частоте максимумов спектральных пиков вследствие сильного сглаживания спектра, этот метод, тем не менее, оказывается существенно полезным при анализе ограниченных во времени астрономических рядов наблюдений, т. к. дает возможность выявлять периоды, сравнимые по длине с продолжительностью ряда наблюдений.

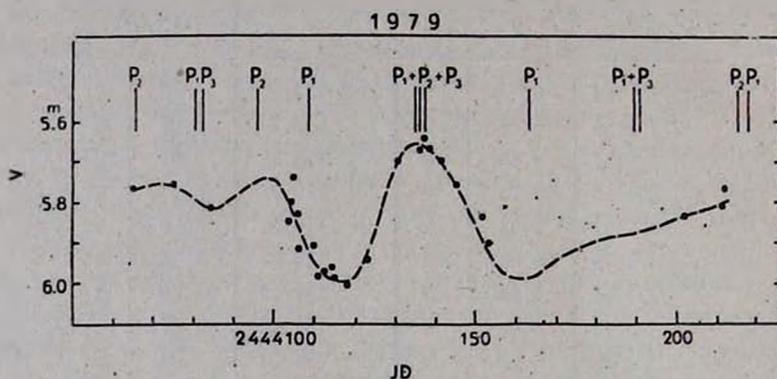


Рис. 1. Наблюдения R CrB в 1979 г. Зарегистрировано колебание с амплитудой $\Delta V = 0^m.35$ и продолжительностью цикла около 45 дней.

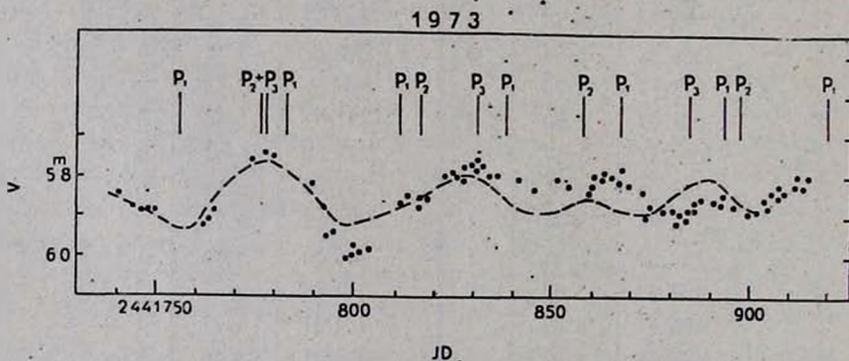


Рис. 2. Изменения блеска R CrB в 1973 г. по наблюдениям [11] (точка). Пунктир-синтезированная из трех гармоник теоретическая кривая.

Для анализа были использованы наблюдения R CrB, проведенные в период пониженной яркости ($m_v \approx 9^m$), поскольку известно, что ППП лучше проявляются тогда, когда переменная слабеет [3]. Спектр мощности излучения R CrB был получен по ряду визуальных наблюдений [15] в интервале с JD 2429320 по JD 2429510, причем низкочастотный тренд был исключен.

Полученный спектр мощности (рис. 3) содержит в интервале времени от 10 до 160 дней гармоник с приближенными периодами:

$$P_1 = 54^d; P_2 = 40^d; P_3 = 28^d; P_4 = 21^d; P_5 = 18^d; P_6 = 13^d.$$

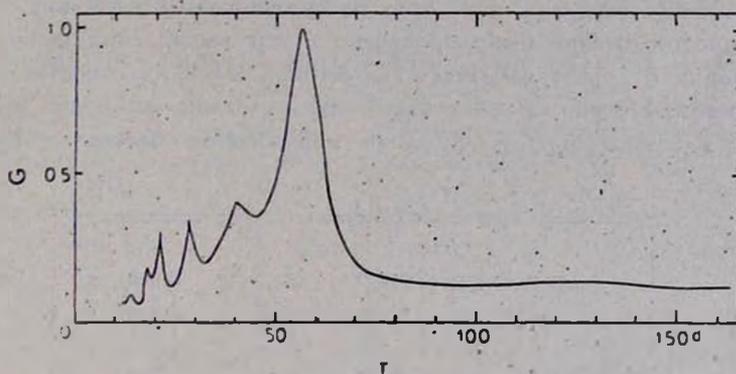


Рис. 3. Спектр мощности излучения R CrB, полученный по наблюдениям [15]. Мощность G дана в условных единицах.

Амплитуды этих периодических составляющих, вычисленные по способу наименьших квадратов, соответственно равны (в звездных величинах): $A_1 = 0.23$; $A_2 = 0.14$; $A_3 = 0.13$; $A_4 = 0.04$; $A_5 = 0.04$; $A_6 = 0.03$. Забегая вперед, следует указать, что, для подтверждения реальности обнаруженных гармоник, необходимо было привлечь к анализу дополнительную информацию, в частности современные фотоэлектрические наблюдения R CrB, выбрав из них наиболее плотные и продолжительные серии. Среди выбранных, однако, ни одна не отвечала условию «а». Поэтому для заполнения пробелов нам пришлось прибегнуть к интерполяции с целью получения недостающих данных. Эта операция несомненно внесла в исходный ряд некоторую неопределенность и исказила короткопериодическую часть получаемых спектров мощности в области периодов, сопоставимых с длиной пробелов, т. е. в нашем случае от 1 до 11 суток. В связи с этим мы игнорируем в дальнейшем рассмотрении все гармонические составляющие с периодами менее 22 суток, т. е. P_4 , P_5 и P_6 . Это ограничение оправдано тем обстоятельством, что оставшиеся гармоники P_1 , P_2 и P_3 с амплитудами от $0^m 13$ до $0^m 23$ вносят доминирующий вклад в циклическую полуправильную переменность блеска R CrB.

Обнаружение совокупности гармонических составляющих блеска подтвердило предположение о том, что отдельные, хорошо выраженные пульсации могут быть результатом сфазированного сложения нескольких гармоник. Для непосредственного сопоставления наших вычислений с наблюдениями необходимо было знать не только периоды и амплитуды гармо-

ник, но и их фазы. При отыскании фаз помогло то обстоятельство, что нами наблюдалась около JD 2444137 очень резкая и крутая волна с максимальной из до сих пор зарегистрированных амплитудой. Было предположено, что такое событие могло произойти в результате совпадения в дату JD 24444137 нулевых фаз* всех трех рассматриваемых гармоник.

Это предположение было проверено путем вычисления нулевых фаз трех гармоник в другие наблюдательные периоды и их сопоставлением с наблюдениями. На рис. 2 и 4 точками представлены две серии фотоэлектрических наблюдений R CгB близи нормального блеска в 1971 г. и

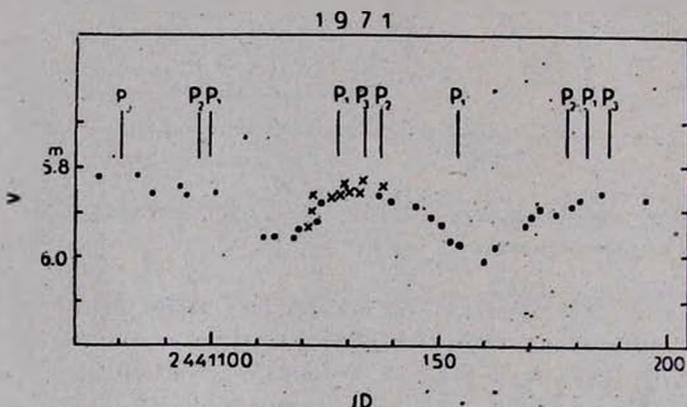


Рис. 4. Изменение блеска R CгB в 1971 г. по наблюдениям [12] — крестики, [13] — точки.

1973 г., проведенные в [11—13]. Вертикальные линии с индексами P_1 и P_2 или P_3 обозначают моменты нулевых фаз соответствующих гармоник, отсчитанные в ретроспективном порядке от момента JD 2444137, выбранного для дальнейших вычислений в качестве нулевой эпохи T_0 . Очевидно, что появление волн с большой амплитудой связано с близостью моментов нулевых фаз и чем ближе совпадают эти моменты, тем резче и круче кажется волна и тем выше ее максимум (сравните волны на рис. 1, 2, 4). В табл. 2, кроме трех этих максимумов, приведены моменты некоторых других максимумов ППП, снятые с кривой блеска R CгB. Видно, что на каждый внесенный в табл. 2 момент приходится нулевая фаза одной из найденных гармоник.

Таким образом, табл. 2 и рис. 1, 2, 4 подтверждают не только факт присутствия трех гармоник, найденных методом спектрального статистического анализа, но и правильность предположения о том, что эпоху T_0 можно рассматривать как нуль-пункт фаз всех трех пульсаций.

* Здесь отсчет фаз ведется от момента максимума какой-либо гармоникки.

Сопоставление моментов нулевых фаз с максимумами пульсаций, сделанное по ряду всех имеющихся фотоэлектрических наблюдений, позволило уточнить величины исследуемых периодов:

$$P_1 = 53^d 64, \quad P_2 = 39^d 96, \quad P_3 = 27^d 36.$$

Таблица 2

МОМЕНТЫ НАБЛЮДЕННЫХ И ВЫЧИСЛЕННЫХ МАКСИМУМОВ ПУЛЬСАЦИЙ R CrB

| Моменты наблюдаемых максимумов пульсаций (JD) | $m_{v \max}$ | Вычисленные моменты максимумов пульсаций (нулевые фазы) | | |
|---|-------------------|---|-----------------|-----------------|
| | | $P_1 = 27^d 36$ | $P_2 = 39^d 96$ | $P_3 = 53^d 64$ |
| 2 444 137 | 5 ^m 67 | 2 444 137 | 2 444 137 | 2 444 137 |
| 41 890 | 5.84 | 41 833 | | |
| 41 854 | 5.78 | 41 866 | | |
| 41 830 | 5.76 | | | 41 830.5 |
| 41 779 | 5.75 | 41 734 | 41 779 | 41 777 |
| 41 598: | 5.80 | 41 592 | | |
| 41 539 | 5.91 | | 41 539 | |
| 41 187: | 5.86: | | | 41 187 |
| 41 133 | 5.84 | 41 127 | 41 140 | 41 133 |
| 41 080: | 5.82: | | | 41 080 |

Представленные на рис. 2 и 4 ряды наблюдений после заполнения пробелов, как было сказано выше, подверглись спектральному анализу. При этом были получены данные, подкрепляющие представление о том, что наблюдаемые кривые блеска вблизи нормального состояния — результат сложения нескольких гармоник. Так, из наблюдений, представленных на рис. 4, получаются периоды в 42 и 53 дня. Однако в этих случаях точность получаемых данных несколько занижена, вследствие краткости ряда наблюдений и присутствия в нем пробелов.

Следует отметить, что амплитуды гармоник P_1 , P_2 и P_3 , полученные из спектрального анализа рядов фотоэлектрических наблюдений, оказываются ниже, чем амплитуды по визуальным оценкам. Так, например, из серии, представленной на рис. 2, получаются значения:

$$A_1 = 0^m 10; \quad A_2 = 0^m 06; \quad A_3 = 0^m 04.$$

Такое уменьшение амплитуды ППП есть следствие закономерности, обнаруженной Айлсом [3], которая состоит в том, что с подъемом среднего блеска амплитуда пульсаций уменьшается. Поэтому фотоэлектрические измерения вблизи нормального блеска дали меньшую амплитуду по сравнению с визуальными наблюдениями в ослабленном состоянии.

Проверкой правильности вычисленных амплитуд явилось теоретическое построение кривой блеска R CгB в сезон 1973 г., сложенной из трех гармоник с амплитудами: 0^m10 ; 0^m06 ; 0^m04 и соответственно с периодами: 53^d64 ; 39^d96 ; 27^d36 и фазами, отсчитываемыми от момента T_0 . Вычисленная кривая показана на рис. 2 пунктиром. Хорошо заметная волна с максимумом вблизи JD 2441778 удовлетворительно описывается теоретической кривой.

Отсюда также следует вывод о том, что, по крайней мере на протяжении 6 лет, периоды (и фазы) гармоник остаются постоянными в пределах 0.5%.

5. Связь глобальных ослаблений блеска с пульсациями. Выяснение этого вопроса осложняется тем, что, как видим, пульсационный процесс R CгB включает, по крайней мере, три гармоники. Если у R CгB, как и в случае с RY Sгg, существует связь между моментами начала ГОБ и фазой пульсации, то которая из гармоник вовлечена в эту связь?

Тщательное изучение кривой блеска R CгB, построенной по наблюдениям [3, 9—13, 15—21], позволило определить семь моментов начала ГОБ, обозначенных буквами А, В, С, D, E, F, G, которые относятся соответственно к 1938, 1942, 1962, 1972, 1973, 1975 и 1977 гг. (табл. 3). Оказалось, что с той точностью, с которой возможно графическое определение моментов (± 3 —5 суток), последние связаны с моментами нулевых фаз (или максимумов пульсаций) гармоники P, с периодом 39.96 суток.

Эта связь, как и в случае пульсаций RY Sгg [17], проявляется в том, что глобальное ослабление блеска, если оно имеет место, начинается сразу вслед за моментом нулевой фазы гармоники P. Отсюда, конечно, не следует, что через каждые 40 суток R CгB ввергается в глубокий минимум, так как порядковый номер пульсации, на которой возможно ГОБ, оказывается, по-видимому, случайным. Так, между моментами А и В прошло 1477 суток, что соответствует 37 циклам 40-дневной гармоники; между В и С — 7188 суток (180 циклов); между С и D — 3560 суток (89 циклов) и между D и E — 640 суток (16 циклов); между E и F — 680 суток (17 циклов) и между F и G — 485 суток (12 циклов). Следует отметить, что момент E определен не очень уверенно, так как визуальные наблюдения 1977 г. [18], по которым он определялся, видимо, отягощены ошибкой «ведения». Это следует из того, что визуальные наблюдения вблизи даты JD 2443200 противоречат фотографическим наблюдениям, опубликованным там же, и нашим фотовольтрическим наблюдениям (табл. 1).

Кроме моментов начала ГОБ, моменты начала вторичных ослаблений блеска, видимые во множестве на кривой блеска R CгB, также в подавляющем большинстве случаев синхронизованы 40-дневной гармоникой. В табл. 3 сопоставлены наблюдаемые и вычисленные моменты максимальной

яркости перед вхождением звезды в ГОБ и во вторичные минимумы. Рассмотрение данных табл. 3 убеждает в том, что все ГОБ и большинство вторичных минимумов блеска R CrB синхронизированы 40-суточным периодом. Другие гармоники, по-видимому, не связаны с моментами начала ослабления яркости, т. к. соответствующие корреляции не обнаружены.

Таблица 3

СВЯЗЬ МОМЕНТОВ МАКСИМАЛЬНОЙ ЯРКОСТИ ПЕРЕД
ОСЛАБЛЕНИЯМИ БЛЕСКА С МОМЕНТАМИ НУЛЕВЫХ ФАЗ
40-СУТОЧНОЙ ГАРМОНИКИ P_2

| Наблюдаемые моменты наибольшей яркости звезды RCrB перед началом минимумов | | Максимумы 39.96-дневных пульсаций, отсчитываемых от момента T_0 |
|--|-----------|---|
| A | 2 429 155 | 2 429 152 |
| B | 430 632 | 30 631 |
| C | 37 820 | 37 823 |
| | 37 900: | 37 903 |
| | 38 060: | 38 063 |
| | 38 103: | 38 103 |
| | 38 185: | 38 183 |
| | 38 259: | 38 263 |
| | 38 543 | 38 543 |
| | 39 368 | 39 382 |
| | 39 407 | 39 422 |
| | 39 940 | 39 941 |
| | 2 440 307 | 40 301 |
| | 40 410 | 40 421 |
| D | 41 380 | 41 380 |
| | 41 420 | 41 420 |
| E | 42 020: | 42 019 |
| F | 42 700 | 42 698 |
| G | 43 185: | 43 179 |

6. Выводы. 1. Получены фотоволновые V -величины и подтверждена переменность R CrB в нормальном блеске. Обнаружена циклическая волна с амплитудой $\Delta m \approx 0^m35$.

2. Анализ спектра мощности излучения в интервале периодов от 22 до 160 суток позволил выявить, по-крайней мере, три гармонические составляющие с периодами $P_1 = 53^d64$; $P_2 = 39^d96$ и $P_3 = 27^d36$ и амплитудами в максимуме соответственно 0^m10 ; 0^m06 и 0^m04 . Наличие трех

сопоставимых по характеристикам гармоник объясняет долго длившемуся неопределенность в уточнении периода пульсации R CrB.

3. Появление эпизодических волн на кривой блеска R CrB объясняется интерференцией обнаруженных гармонических составляющих циклической переменности.

4. Обнаружено, что моменты начала глобальных ослаблений блеска отстоят друг от друга по времени на величины, кратные 39.96-суточному периоду. Таким образом, колебания с этим периодом являются главным процессом переменности в звезде, т. к. они синхронизируют наступление глобальных и вторичных минимумов блеска.

5. Подчеркивается усилившаяся после обнаружения у R CrB 39.96-суточного периода общность двух наиболее изученных звезд исследуемого типа — R CrB и RY Sgr. У обеих звезд очень близкие по значению периодов колебания выступают в роли главного фактора переменности.

Главная астрономическая
обсерватория АН УССР

CONNECTION OF THE R CrB CYCLIC LIGHT VARIATIONS WITH THE TOTAL LIGHT FADINGS

R. I. GONCHAROVA, G. U. KOVALCHUCK, A. F. PUGACH

Power-spectrum analysis of R CrB light variations has revealed three harmonics, which have periods of 53.64, 39.96 and 27.36 days. One of them synchronized the moments of the total light fadings.

ЛИТЕРАТУРА

1. T. E. Sterne, *Bull. Harv. Obs.*, 896, 17, 1935.
2. Г. У. Ковальчук, Е. И. Лендерман, Ф. И. Лукацкая, А. Э. Розенбуш, *Астрометрия и Астрофизика*, вып. 25, 3, 1975.
3. J. E. Ial-s, *JBAА*, 83, 368, 1973.
4. M. W. Feast, *Variable Stars and Stellar Evolution*, IAU Symp. 67, Moscow, 1974, Dordrecht-Boston, 1975, p. 129.
5. Б. Е. Жилев, М. Я. Орлов, А. Ф. Пугач, М. Г. Родригес, А. Г. Тотогава, *Звезды типа R Северной Короны*, Наукова Думка, Киев, 1978.
6. J. B. Alexander, P. J. Andrew, R. M. Catchpole et al., *M. N. RAS*, 158, 305, 1972.
7. A. F. Pugach, *IBVS*, 1277, 1, 1977.
8. E. E. Markwick, *JBAAS*, 20, 412, 1910.
9. А. Г. Тотогава, *Астрон. цирк.*, № 744, 2, 1977.
10. J. D. Fernie, *JRASC*, 65, 172, 1971.
11. P. Tempesti, R. de Santis, *Mem. Soc. Astron. Italy*, 46, 443, 1975.

12. *E. A. Epps*, Roy. Obs. Bull., 176, 127, 1972.
13. *J. D. Fertis, V. Sherwood, D. L. Du Puy*, Ap. J., 172, 383, 1972.
14. *Я. С. Якуш, А. И. Амеу*, Астрометрия и Астрофизика, вып. 29, 3, 1976.
15. *L. Campbell*, Harv. Ann., 107, 1949.
16. *P. Ahnert*, MVS, 2, 69, 1964.
17. *H.-J. Blasberg*, MVS, 4, 199, 1968; 5, 172, 1971; 6, 56, 1972.
18. *J. Bradl*, MVS, 8, 60, 1978.
19. *D. W. Dawson, E. F. Tedesco*, Contr. New Mexico Univ. Obs., 1, 134, 1976.
20. *C. R. Munford*, VSS, 87, 509, 1977.
21. *V. Novotny*, MVS, 7, 24, 1975.