

УДК 524.338.7

**R Северной Короны в минимумах блеска 1977 и 1983 гг.****I. Фотометрия**

А. Э. Розенбуш

Приведены результаты *UBV* фотометрии R Северной Короны в глубоких минимумах блеска 1977 и 1983 гг. С привлечением спектральных наблюдений оценивается вклад эмиссионных линий в изменения показателей цвета  $B-V$  и  $U-B$  в ходе минимума. Из установленной зависимости вариаций показателей цвета от скорости уменьшения блеска звезды для разных минимумов выводится, что в минимумах с большей скоростью уменьшения блеска пылевые графитовые частицы имеют большие размеры.

*R CORONAE BOREALIS IN 1977 AND 1983 VISUAL MINIMA. I. PHOTOMETRY, by Rosenbush A. E.*— The results of *UBV* photometry of R CrB in deep visual minima of 1977 and 1983 are given. Using the spectral observations the contributions of emission lines into the  $B-V$  and  $U-B$  colour variations in minimum are estimated. It is found from the relation between colour variations and the rate of brightness decrease for different minima that in minima with a larger rate of brightness decrease the sizes of dust graphite grains are larger.

Редкость и непредсказуемость минимумов блеска у звезд типа R Северной Короны (RCB), а также небольшая яркость в фазе минимального блеска объясняют неполноту наших знаний о поведении этих переменных в активной стадии. Наиболее полно изучены два самых ярких представителя этого типа звезд: R CrB и RY Sgr.

Широкополосная *UBV* фотометрия R CrB проводилась во время минимумов блеска 1962 [14, 19] (I), 1967 [16] (II), 1972 [19] (III), 1974 [17] (IV), 1977 [8] (V) и 1983 гг. [12, 13] (VI). Но эти наблюдения не охватывают всего минимума блеска, как было в случае RY Sgr для минимума 1967 г. [11], когда фотометрические (*UBV*) наблюдения проводились на всех фазах ослабления звезды и сопровождалась спектральными наблюдениями. Все же они позволяют выявить общие черты, характерные для минимумов блеска других переменных типа RCB [3]: показатели цвета  $B-V$  и  $U-B$  начинают изменяться после ослабления звезды на  $2-3^m$ ; с началом восстановления яркости переменной показатели  $B-V$  и  $U-B$  увеличиваются, затем более медленно восстанавливаются до нормальных значений.

Минимумы блеска звезд типа RCB связывают с образованием графитовой пыли в атмосфере звезды и последующим ее истечением наружу, что подтверждается фотометрическими, поляриметрическими и инфракрасными наблюдениями [3].

По цветовым изменениям переменной в ходе минимума судят о законе поглощения в пылевой оболочке [3]. Получена [8] зависимость оптической толщины  $\tau_\lambda$  поглощающей среды от длины волны  $\lambda$  вида  $\tau_\lambda \sim \lambda^{-1.4}$ . Рао [19], Паттерсон и др. [18] по данным спектрофотометрии R Северной Короны в минимуме блеска нашли размер пылинок (0.04—0.07 мкм).

В 1977 г. нами проводились фотометрические (*UBV*) наблюдения R CrB в минимуме блеска на 60-см телескопах Цейса: январь — март, Крымская станция ГАИШ; июль—август, Майданак; декабрь, САО АН СССР (таблица). Данные о фотометрах приведены в работах [4—6]. В двух последних случаях использовались также полосы  $R'$  (близкая к стандартной полосе  $R$ ) и  $i$  (эффективная длина волны  $\lambda_{эф} = 803$  нм). Несколько значений блеска  $V$  (в таблице отмечены звездочкой) выведены из наблюдений со спектрометром Сейя — Намиока на телескопе АЗТ-14 Крымской станции ГАИШ, которые проводились аналогично

## Результаты наблюдений

<i>J. D.</i> 2 443 000+	<i>V</i>	<i>B-V</i>	<i>U-B</i>	$\Delta R'$	$\Delta I$	<i>V-R</i>
159.6	6.03 <sup>m*</sup>	—	—	—	—	—
160.7	6.03*	—	—	—	—	—
167.53	5.90	0.74 <sup>m</sup>	0.13 <sup>m</sup>	—	—	—
190.6	6.28*	—	—	—	—	—
192.6	6.37*	—	—	—	—	—
195.6	6.55*	—	—	—	—	—
212.46	9.66	0.73	-0.12	—	—	—
213.49	10.00	0.79	-0.15	—	—	—
213.52	10.01	0.79	-0.18	—	—	—
213.55	10.01	0.79	-0.18	—	—	—
215.48	10.57	0.75	-0.31	—	—	—
215.50	10.56	0.75	-0.30	—	—	—
216.54	10.80	0.84	-0.39	—	—	—
216.60	10.84	0.76	-0.31	—	—	—
225.41	11.58	0.79	-0.39	—	—	—
225.42	11.57	0.79	-0.33	—	—	—
225.47	11.60	0.80	-0.37	—	—	—
225.52	11.61	0.81	-0.41	—	—	—
225.53	11.61	0.79	-0.38	—	—	—
225.60	11.62	0.82	-0.43	—	—	—
228.57	11.67	0.83	-0.37	—	—	—
229.36	11.70	0.85	-0.26	—	—	—
229.46	11.74	0.78	-0.31	—	—	—
229.52	11.71	0.84	-0.37	—	—	—
230.35	11.71	0.87	-0.36	—	—	—
230.55	11.72	0.87	-0.35	—	—	—
231.53	11.73	0.88	-0.34	—	—	—
231.55	11.73	0.87	-0.34	—	—	—
231.59	11.75	0.83	-0.34	—	—	—
232.35	11.64	0.92	-0.35	—	—	—
232.36	11.64	0.92	-0.36	—	—	—
232.55	11.66	0.89	-0.30	—	—	—
232.56	11.64	0.93	-0.29	—	—	—
343.24	12.93	0.83	0.00	5.04 <sup>m</sup>	4.80 <sup>m</sup>	—
343.34	13.01	0.78	-0.12	—	—	—
344.21	13.05	0.81	-0.18	4.99	5.16	—
344.28	13.04	0.74	-0.02	5.18	4.98	—
345.21	13.20	0.69	-0.15	5.30	5.03	—
345.27	13.06	0.78	-0.13	5.05	5.09	—
346.20	13.18	0.68	-0.06	5.38	5.22	—
346.24	13.26	0.63	-0.13	5.54	5.18	—
347.20	13.19	0.65	-0.05	5.38	5.29	—
347.23	13.23	0.64	-0.09	5.44	5.30	—
347.28	13.23	0.68	-0.13	5.44	5.23	—
347.33	13.24	0.67	-0.12	5.44	5.28	—
348.19	13.28	0.62	-0.02	5.49	5.37	—
348.32	13.29	0.61	-0.19:	5.55	5.46	—
349.19	13.05	0.89	-0.20	5.58	5.32	—
351.22	13.29	0.63	-0.07	5.49	5.48	—
352.19	13.22	0.65	-0.11	5.51	5.57	—
352.32	13.24	0.69	+0.01	5.47	5.32	—
355.19	13.36	0.70	-0.21	5.44	5.15	—
358.23	13.21	0.69	0.00	5.45	5.22	—
359.18	13.25	0.70	-0.16	5.44	5.24	—
359.33	13.33	0.78	—	5.43	5.19	—
360.20	13.30	0.66	-0.15	5.49	5.34	—
361.18	13.35	0.60	-0.10	5.49	5.29	—
495.61	8.11	0.92	0.81	—	—	0.24 <sup>m</sup>
498.61	8.01	0.88	0.76	—	—	0.13
570.6	6.56*	—	—	—	—	—
2 575.2	6.8	—	—	—	—	—
2 579.220	8.55	0.68	-0.02	—	—	0.56
2 581.145	9.26	0.70	-0.08	—	—	0.58
2 584.135	9.28	0.78	0.17	—	—	0.61
2 585.15	9.44	0.82	0.32	—	—	0.78
2 586.135	9.41	0.89	0.32	—	—	0.80
2 588.135	9.40	0.82	0.32	—	—	0.79

Продолжение таблицы

<i>J. D.</i> 2 443 000+	<i>V</i>	<i>B-V</i>	<i>U-B</i>	$\Delta R'$	$\Delta i$	<i>V-R</i>
2 589.131	9.36	0.84	0.29	—	—	0.72
2 594.119	10.09	0.93	0.24	—	—	0.88
2 594.131	10.05	0.93	0.26	—	—	0.85
2 599.129	10.97	1.00:	0.09:	—	—	—
2 604.118	11.69	0.84	-0.21	—	—	—
2 605.133	11.84	0.89	-0.28	—	—	0.88
2 616.2	13.2	—	—	—	—	—
2 680.5	11.0	—	—	—	—	—
2 728.5	11.5	—	—	—	—	—
2 755.4	12.2	—	—	—	—	—
2 779.2	10.8	—	—	—	—	—
2 789.5	9.8	—	—	—	—	—
2 797.5	9.4	—	—	—	—	—
2 816.1	8.0	—	—	—	—	—
2 820.4	7.6	—	—	—	—	—
2 836.3	6.9	—	—	—	—	—

Примечание. Разности значений блеска  $\Delta R'$  и  $\Delta i$  даны по отношению к звезде сравнения № 1.

описанным нами [9]. Лишь в последнюю дату измерения были выполнены В. И. Шенавриним с привязкой к стандарту ( $\eta$  UMa).

Минимум 1983 г. наблюдался на 1-м (г. Санглок) и 0.7-м (Гиссарская астрономическая обсерватория) телескопах Института астрофизики АН ТаджССР. Несколько визуальных оценок блеска получено на телескопе АЗТ-2 ГАО АН УССР. В качестве стандартов для обоих минимумов использовались звезды сравнения № 1 (BD+28°2475) и № 3 из [3]. В обоих минимумах мы проводили спектральные наблюдения, анализ которых будет приведен в следующей статье.

Оба минимума были глубокими, с продолжительной фазой наибольшего ослабления блеска. Общий характер изменения блеска был такой же, как и в предыдущих минимумах. В 1977 г. ослабление звезды происходило плавно до остановки при  $V \simeq 10.7^m$ . Показатели цвета к этому времени уже установились на уровне  $\overline{B-V} = 0.79^m$ ,  $\overline{U-B} = -0.35^m$ ; намечилось их покраснение при остановке в изменении блеска и последующего некоторого его увеличения. В начальной фазе минимума (до  $V \simeq 6.5^m$ ) показатели цвета не изменялись, что хорошо видно по данным спектрофотометрии (относительное распределение энергии в спектре звезды оставалось неизменным). Уменьшение блеска в *J.D.* 2 443 343 —... 346 привело к уменьшению показателей *B-V*, не отразившись на показателях *U-B*. Если представить относительные изменения блеска в этот период в полосах *UBVR'i* в зависимости от  $\lambda_{эф}$ , то амплитуда этих изменений имеет максимум в области  $\lambda = 0.9$  мкм (рис. 1), так как ИК-наблюдения [10] не показывают вариаций блеска в фильтре *J*. Поэтому важно проводить наблюдения минимумов блеска переменных типа RCB в области  $\lambda = 0.9$  мкм. На выходе из минимума блеска показатели цвета звезды были больше, чем в спокойном состоянии.

Из сопоставления распределения энергии в спектре R CgB на предмаксимальной фазе при  $V \simeq 6.5^m$  и в спокойном состоянии [9] можно заключить, что поглощение в экранирующем веществе в этой фазе имело линейную зависимость от длины волны:  $\tau \sim -\lambda$  (рис. 2) в отличие от отмеченного вывода [8], отражающего усредненный закон поглощения в течение всей предмаксимальной фазы.

Минимум 1983 г. отличался от описанного выше наличием остановки в уменьшении блеска при  $V \simeq 9.4^m$ , что отразилось на изменении показателей цвета: *B-V* и *U-B* стали увеличиваться (что обычно

происходит на выходе переменной из минимума). В дальнейшем при продолжении падения блеска показатель  $U-B$  вновь уменьшался и стал отрицательным.

Анализируя кривые блеска и показателей цвета  $R$  Северной Короны в нескольких минимумах, мы обнаружили существование некоторой связи между скоростью уменьшения блеска  $\Phi$  и изменением показателей цвета относительно нормальных значений. Если  $\Phi$  определять на интервале блеска от 10 до 12<sup>m</sup>, когда  $B-V$  и  $U-B$  достигают экстремальных значений, то эта тенденция приобретает вид четкой зависимости

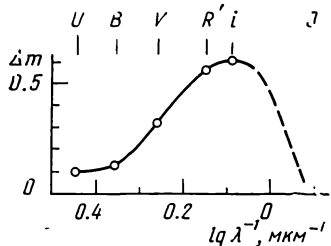


Рис. 1. Изменение блеска  $R$  СгВ в разных фотометрических полосах в течение  $J. D. 2\ 443\ 343 \dots 346$

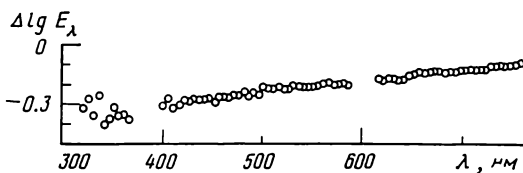


Рис. 2. Отношение распределений энергии в спектре  $R$  СгВ в  $J. D. 2\ 443\ 570.6$  и в спокойном состоянии

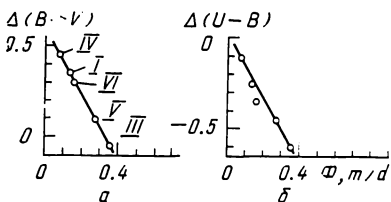


Рис. 3. Зависимость изменений показателей цвета  $\Delta(B-V)$  (а) и  $\Delta(U-B)$  (б) от скорости уменьшения блеска  $\Phi$ . Римские цифры — номер минимума

(рис. 3). Необходимо отметить, что остановка в уменьшении блеска или большие изменения  $\Phi$  на этой фазе кривой блеска искажают  $B-V$  и  $U-B$ , из-за чего они могут не удовлетворять этой зависимости. Рассмотрим возможные причины изменения показателей цвета.

Некоторый вклад в вариации показателей цвета вносит изменение линейчатого спектра переменной: абсорбционный спектр исчезает и появляется эмиссионный. Имеющиеся у нас спектральные наблюдения позволили количественно оценить этот вклад. Исчезновение абсорбционного спектра приводит к следующим изменениям величин  $UBV$ :  $\Delta U \simeq -0.20^m$ ,  $\Delta B \simeq -0.35^m$ ,  $\Delta V \simeq -0.10^m$ . Появление эмиссионных линий дополнительно увеличивает блеск переменной в соответствующих фотометрических полосах:  $\Delta V = 0$ ,  $\Delta B \leq -0.05^m$ ,  $\Delta U \simeq -0.30^m$  (1977 г.) и  $-0.15^m$  (1983 г.); в дальнейших расчетах принимаем  $\Delta V = 0$ ,  $\Delta B = 0$ ,  $\Delta U = -0.25^m$ . Суммарное изменение блеска и показателей цвета  $R$  СгВ вследствие изменения линейчатого спектра следующее:  $\Delta V = -0.10^m$ ,  $\Delta(B-V) = -0.25^m$ ,  $\Delta(U-B) = -0.10^m$ . От минимума к минимуму эти величины изменяются незначительно, у наиболее переменного показателя  $U-B$  вариации не превышают, по-видимому,  $0.10^m$ . Это свидетельствует о том, что основные различия в изменении показателей цвета от минимума к минимуму обусловлены изменением в непрерывном спектре звезды, а не в линейчатом. Последнее, возможно, связано с вариациями закона поглощения в экранирующем звезду веществе.

Некоторые сведения о законе поглощения на спаде блеска можно получить из анализа зависимостей (рис. 3). Для  $\Phi = 0.1$  m/d находим  $\Delta(B-V) = \Delta B - \Delta V = 0.41^m$  и  $\Delta(U-B) = \Delta U - \Delta B = -0.15^m$ . Приняв  $\Delta V = 0$ , имеем  $\Delta B = 0.41^m$  и  $\Delta U = 0.26^m$ . Аналогично для  $\Phi = 0.3$  m/d

имеем  $\Delta V \equiv 0$ ,  $\Delta B \equiv 0.05^m$ ,  $\Delta U \equiv -0.45^m$ . Введя в эти значения поправки за изменение линейчатого спектра и представив результат в зависимости от  $\lambda$ , получаем приближенный вид закона поглощения в пылевой оболочке R CrV на начальной стадии минимума блеска (рис. 4). Максимум поглощения находится в области  $\lambda\lambda$  400—460 нм и при уменьшении скорости падения блеска  $\Phi$  он смещается в сторону меньших  $\lambda$ . Из данных, приводимых В. А. Окорочковым [7], следует, что это наблюдается при уменьшении радиуса графитовых частиц. Средний радиус частиц в нашем случае может изменяться от 0.09 мкм при  $\Phi = 0.3$  m/d до 0.07 мкм при  $\Phi = 0.1$  m/d.

Изменение размеров пылинок должно также сопровождаться вариациями характера поляризации от минимума к минимуму. Это видно

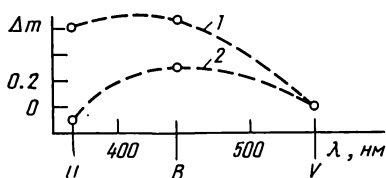


Рис. 4. Приближенная зависимость поглощения в пылевой оболочке R CrV от длины волны для скоростей уменьшения блеска  $\Phi = 0.1$  m/d (1) и  $\Phi = 0.3$  m/d (2)

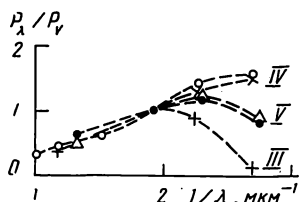


Рис. 5. Зависимости степени поляризации R CrV от длины волны в начальных фазах минимумов 1972 г. (III), 1974 (IV) и 1977 г. (V), нормированные к степени поляризации в визуальной области спектра

из различий зависимости степени поляризации  $p$  от длины волны для трех минимумов (1972, 1974, 1977 гг.) в начальной их фазе (рис. 5; исходные данные взяты из [1—3]): с уменьшением  $\Phi$  наблюдается подъем коротковолнового конца этих зависимостей. Согласно [20], это происходит при уменьшении размеров графитовых частиц (в нашем случае от 0.1 до 0.05 мкм).

Таким образом, двумя независимыми путями мы пришли к выводу, что во время медленных ослаблений блеска R CrV образуются частицы меньших размеров. Рао [19] для минимума 1974 г. дает размер пылевых частиц  $r = 0.04$  мкм, для 1972 г. ( $\Phi$  меньше)  $r = 0.06$  мкм.

Данные Ю. А. Фадеева [15] при подробном исследовании процесса конденсации графитовых частиц в атмосфере переменных типа R CrV позволяют сделать вывод о том, что скорость падения блеска и размеры частиц зависят от скорости расширения пылевой оболочки, которая определяет динамическую шкалу высот.

Таким образом, цветовые изменения R CrV и всех остальных звезд этой группы в стадии уменьшения блеска являются суммой двух слагаемых: 1 — постоянного для всех минимумов и обусловленного трансформацией спектра звезды из абсорбционного в эмиссионный [ $\Delta(B - V) = -0.25^m$ ,  $\Delta(U - B) = -0.10^m$ ]; 2 — переменного от минимума к минимуму. Последнее — следствие образования пылинок больших размеров в атмосфере звезды в более быстрых минимумах блеска.

Автор благодарит руководство и сотрудников Крымской станции ГАИШ, Астрономического института АН УзССР, САО АН<sup>У</sup> СССР, Института астрофизики АН ТаджССР за предоставленную возможность провести наблюдения, помощь в их выполнении, за вспомогательные данные, необходимые при обработке наблюдательного материала.

1. Ефимов Ю. С. Поляризация излучения R CrV // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.— 1980.— 61.— С. 110—119.
2. Ефимов Ю. С. Поляризационные наблюдения R Северной Корона во время ее минимума в 1977 г. // Там же.— 62.— С. 17—26.

3. Жиляев Б. Е., Орлов М. Я., Пугач А. Ф. и др. Звезды типа R Северной Короны. — Киев : Наук. думка, 1978.—127 с.
4. Килячков Н. Н., Бруевич В. В., Котышев В. В. и др. Высокоскоростная фотометрия вспышек UV Кита и EV Ящерицы в инфракрасной области спектра // Перемен. звезды.—1978.—21, № 1.—С. 3—44.
5. Лютый В. М. Автоматический электрофотометр со счетом фотонов // Сообщ. Гос. астро. ин-та им. П. К. Штернберга.—1971.—№ 172.—С. 30—41.
6. Неизвестный С. И., Пименов А. А. Электрофотометр первичного фокуса БТА // Сообщ. Спец. астрофиз. обсерватории АН СССР.—1978.—№ 23.—С. 56—67.
7. О कोरोнов В. А. Модели активной фазы звезд типа R Северной Короны // Науч. информации.—1984.—№ 57.—С. 3—16.
8. Пугач А. Ф., Гончарова Р. И., Ковальчук Г. У. UVVR-фотометрия и оптические свойства околзвездной оболочки R CrB // Фотометрические и поляриметрические исследования небесных тел.— Киев : Наук. думка, 1985.—С. 96—102.
9. Розенбуш А. Э. Распределение энергии в спектре R Северной Короны в спокойном состоянии // Астрометрия и астрофизика.—1979.— Вып. 38.—С. 36—40.
10. Шенаврин В. И., Таранова О. Г., Мороз В. И. и др. Оптическая и инфракрасная фотометрия R CrB в минимуме 1977 г. // Астрон. журн.—1979.—56, № 5.—С. 1007—1011.
11. Alexander J. D., Andrews P. J., Catchpole R. M. et al. A spectroscopic and photometric study of the pulsating R Coronae Borealis type variable; RY Sagittarii // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—1972.—158, N 3.—P. 305—360.
12. Böhme D. Photoelectric observations of R CrB // Inform. Bull. Var. Stars.—1983.—N 2442.—P. 1.
13. Böhme D. Photoelectric observations of R CrB // Ibid.—1984.—N 2646.—P. 1.
14. Eggen O. J. The Wolf 630 group // Observatory.—1965.—85, N 948.—P. 191—195.
15. Fadeyev Yu. A. Graphite grain formation in the atmospheres of R Coronae Borealis stars // Astrophys. and Space Sci.—1983.—95, N 2.—P. 357—368.
16. Fernie J. D., Sherwood V., Du Puy D. L. A photometric study of selected R Coronae Borealis variables // Astrophys. J.—1972.—172, N 2.—P. 383—390.
17. Nakagiri M. UVB photometry of R Coronae Borealis during the brief minimum of 1973—1974 // Publ. Astron. Soc. Jap.—1975.—27, N 2.—P. 379—383.
18. Patterson R. S., Fix J. D., Neff J. S. Spectrophotometry of R Coronae Borealis during the minimum of 1974 // Astrophys. J.—1976.—204, N 3.—P. 838—841.
19. Rao N. K. A study of the spectrum of R Coronae Borealis at minimum light (Ph. D. Thesis).—Santa Cruz: California Univ., 1974.—60 p.
20. Shawl S. J. Polarimetry of late-type stars // Planets, stars and nebulae.—Tucson, Arizona: Arizona Univ. press, 1974.—P. 821—844.

Глав. астро. обсерватория АН УССР,  
Киев

Поступила в редакцию 17.02.86,  
после доработки 28.03.86

*Окончание статьи И. Г. Колесника*

22. Myers P. C., Linke R. A., Benson P. J. Dence cores in dark clouds. I CO observations and column densities of high-extinction regions // Ibid.—1983.—264, N 2.—P. 517—537.
23. Snell R. L. A study of nine interstellar dark clouds // Astrophys. J. Suppl. Ser.—1981.—45, N 1.—P. 121—175.
24. Stenholm L. G. The physical structure of the dark cloud B5 // Astron. and Astrophys.—1985.—144, N 1.—P. 179—185.
25. Stenholm L. G., Hartquist T. W., Morfill G. E. Structure of molecular clouds. V. Detailed models and observational characteristics // Astrophys. J.—1981.—249, N 1.—P. 152—160.

Глав. астро. обсерватория АН УССР,  
Киев

Поступила в редакцию 19.12.85,  
после доработки 21.01.86