

Фотометрическое поведение и общие характеристики Новой HR Дельфина

Д. Райкова

Новая Дельфина 1967 (HR Del) была открыта Олкоком (Кэнди, 1967) 8 июля 1967 г. как звезда 5,6 звездной величины. Она оставалась ярче 6^m больше года. Благоприятное положение на небе и ее особое поведение привлекло внимание к звезде, и по HR Del опубликовано много наблюдательных работ.

Кривые блеска HR Del строились многими авторами. Кривые, построенные по фотометрическим наблюдениям только одного автора, обычно имеют большие пробелы (например, Бартолини и др., 1969). Когда использованы наблюдения многих авторов, как, например, в работе Антиповой (1977), охватывается небольшой интервал времени. Самые полные кривые блеска построены по визуальным и иногда по фотографическим наблюдениям любителей (Терзан, 1968, 1970; Терзан и др., 1974; Ланге, 1970; Майол, 1969), но их, к сожалению, нельзя использовать для оценки параметров эффективной фотосферы Новой.

Мы построили кривую блеска HR Del по фотометрическим наблюдениям в системе *UBV* или приведенным к ней (Абуладзе, 1968, 1969; Омаров, Гаджиев, 1970; Колесник, 1970; Икауниекс, 1967; Лендерман, Пугач, 1970; Хил, 1968 а, б; Ашбрук, Робинсон, 1968; Темпести, 1968 а, б, с; Шао, 1967; Майол, 1968; Барокас, 1968; Лочер, 1968; Калиш, 1968 а, б; Уильямс, 1968; Лиллер, 1967; Марсден, 1967; Гингерих, 1967; Канда, 1967 а, б; Соломон, 1967 а, б; Нха, 1967; Стокс, 1967 а, б, с; О'Коннел, 1968; Барнес и др., 1967; Бартолини и др., 1969; Кремпец, 1970; Ондерличка, Ветешник, 1968; Григар и др., 1968; Моллерус, 1969; Григар, Кохоутек, 1969; Маннери, 1970; Барнес, Эванс, 1970).

На рис. 1 представлена кривая блеска в лучах *V* и кривая изменения показателя цвета (*B-V*) от 3 июня 1967 г. до 27 января 1968 г. (J. D. 2 439 645—2 439 883). После этого некоторое время нет наблюдений из-за соединения звезды с Солнцем. На кривой блеска крестиками выделены фотографические наблюдения HR Del до момента открытия. Нульпункт шкалы звездных величин, конечно, другой, но можно получить представление о ходе начального подъема блеска. На рис. 2 показаны аналогичные кривые с 9 марта 1968 г. по 1 ноября 1968 г. (J. D. 2 439 924—2 440 162).

При сводке различных наблюдений желательно привести их в единую систему. Но для этого надо иметь хоть один ряд наблюдений, который перекрывался бы со всеми остальными, и, кроме того, достаточное количество одновременных наблюдений разных авторов. Этого, к сожалению, нет.

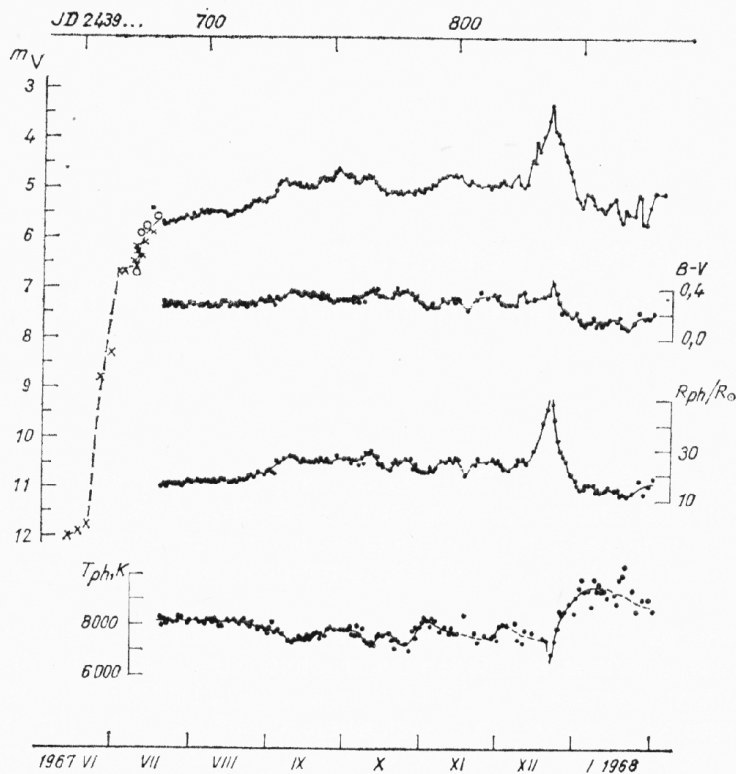


Рис. 1. Кривые изменения блеска (m_V), показателя цвета ($B-V$), температуры (T_{ph}) и радиуса (R_{ph}) эффективной фотосферы HR Del в период 3. VI. 1967 г. — 27. I. 1968 г. о— m_{vis} ; x— m_{pg}

Самый большой период охватывают наблюдения Бартолини и др. (1969) но они немногочисленны и с большими перерывами. Очень часто, особенно после максимума блеска, за данную ночь есть только одно наблюдение. Учитывая характер наблюдательных данных, при построении кривой блеска и кривой изменения показателя цвета мы просто усредняли все имеющиеся значения V и $(B-V)$ за одну ночь.

Наблюдения разных авторов в лучах V , относящиеся к одной и той же ночи, обычно хорошо совпадают между собой. Из всех собранных данных пришлось исключить только несколько одиночных наблюдений, опубликованных в Циркуляре Международного астрономического союза. Хуже обстоит дело с показателем цвета ($B-V$). Хотя авторы и приводили свои наблюдения в стандартную систему UBV , они все же оказываются немного разными у разных наблюдателей. Это, по-видимому, является следствием небольших различий в полосах пропускания разных инструментов и приемников. Значительно отличаются от остальных значения ($B-V$) из работы Омарова, Гаджиева (1970), и сами авторы указывают, что их система лишь „близка к стандартной“. Этих наблюдений мы не использовали. Не использовались также данные о ($B-V$), полученные Колесник (1970).

До максимума блеска эмиссионные линии вносят в интегральное излучение звезды небольшой вклад по сравнению с излучением в непрерывном спектре, и различия значений $(B-V)$, взятых из разных источников, невелики. После максимума блеска, особенно до середины марта 1968 г., эмис-

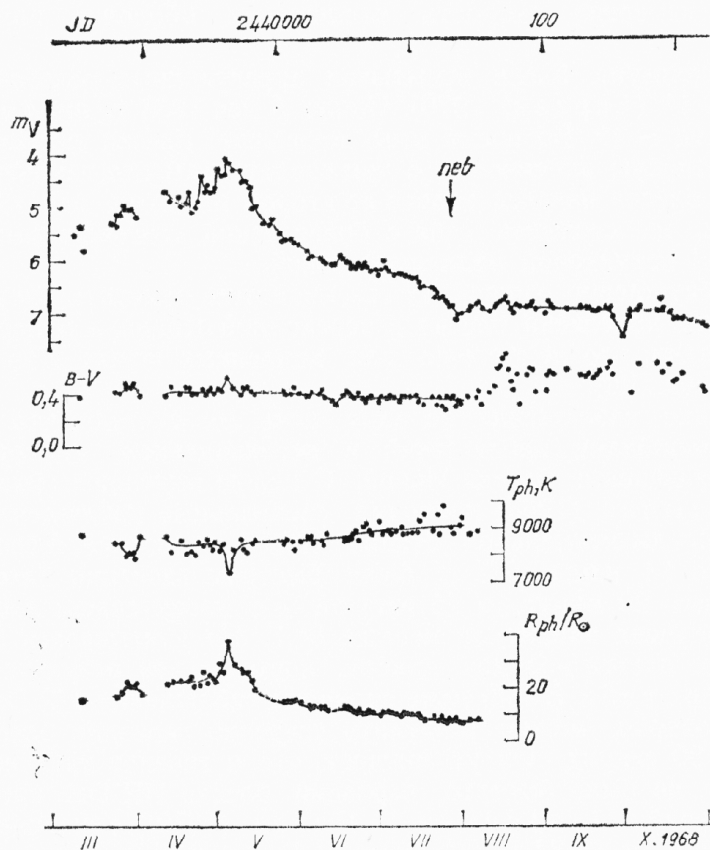


Рис. 2. Кривые изменения блеска (m_V), показателя цвета ($B-V$), температуры (T_{ph}) и радиуса (R_{ph}) эффективной фотосферы HR Del в период 9. III—1. X. 1968 г.

сионные линии очень интенсивны и должны сказываться на получаемых из наблюдений показателях цвета. В небулярной стадии большая часть энергии в диапазоне длин волн, охватываемом полосами B и V , излучается в линиях, и там расхождения значений $(B-V)$ очень большие. Как видно из рис. 2, они достигают $0^m,5$.

На рис. 1 видно, что до максимума блеска разброс значений $(B-V)$ за разные даты около средней кривой небольшой, и эти данные можно считать представительными для оценок некоторых характеристик Новой. После максимума блеска до наступления небулярной стадии (J. D. $\sim 2\,440\,066$) показатель цвета $(B-V)$ тоже не показывает разброса больше $0^m,05$ (рис. 2), т.е. он может быть использован хотя бы для ориентировочных оценок параметров звезды.

Из рис. 1 и 2 видно, что HR Del очень долго была достаточно яркой (ярче $5^m,5$); из-за этого некоторые авторы причисляют ее к новым типа RT Ser (Глебоцки, 1970; Антипова, 1977).

Очевидно, что HR Del действительно очень медленная новая. Начальный подъем ее блеска занял целый месяц. После этого началась предмаксимальная стадия, длившаяся пять месяцев. Максимум блеска $3^m,3$ (Ик а у н и е к с, 1967) Новая достигла 13 декабря 1967 г. Тогда произошло отделение главной оболочки со скоростью ~ 450 km/s — по ширине линий в небулярной стадии была измерена скорость расширения оболочки порядка 460—470 km/s.

После максимума блеск испытывал иррегулярные колебания с амплитудой порядка 1^m (Г е р з а н, 1970). Около 5 мая 1968 г. имел место второй максимум блеска $\sim 4^m$. Во время этих колебаний блеска звезда показывала большую эруптивную активность, о чем свидетельствуют изменения спектра. Плавный спад блеска начался только во второй половине мая 1968 г. Ввиду сказанного, мы, не связывая себя с более узкой классификацией, склонны считать HR Del пекулярной медленной новой.

Кончая обсуждение кривой блеска, мы хотим отметить отсутствие провалов и больших колебаний блеска в переходной стадии и в первые месяцы небулярной стадии, что не типично для медленных новых (П э й н-Г а п о ш к и н а, 1957, табл. 1,9).

Усредняя все наблюдения за одну ночь, мы считали, что их различия обусловлены ошибками наблюдений и несовпадением инструментальных систем, а не вариациями блеска Новой. С целью выявления быстрых вариаций блеска Ш п ы ч к а (1968) проводил специальные наблюдения в течение семи ночей в предмаксимальной стадии Новой в системе, близкой к *UBV*. Он нашел, что 14 июля 1967 г. были быстрые вариации блеска с характерным временем 20 минут, а 25 августа — с характерным временем один час. В обоих случаях амплитуда меньше $0^m,1$. Не учитывалась атмосферная экстинкция и не дается порядок ошибок, поэтому эти результаты неубедительны. У о л е р с т е й н (1968) тоже проводил наблюдения HR Del в системе *UBVr*, при которых можно разделить уверенно вариации блеска длительности меньше 30 секунд. Он утверждает, что в течение трех ночей, 23—25 августа 1967 г., не было быстрых вариаций блеска HR Del, превосходящих ошибки измерений. Л е н д е р м а н и П у г а ч (1970) отметили изменения блеска в лучах *V* на $0^m,33$ за 45 минут (J. D. 2 439 703), которые сопровождались соответствующими изменениями цвета. За другие 8 ночей в их наблюдениях существенных вариаций не было.

Из опубликованных наблюдений нельзя сделать однозначного вывода относительно существования быстрых вариаций блеска HR Del. Если они и были, то наверное их амплитуда порядка ошибок измерений блеска.

Наличие величин показателя цвета (*B—V*) дает возможность определить температуру и радиус эффективной фотосферы Новой. По данным табл. 7 статьи Г а р р и с а (1963) была построена зависимость $T_{\text{eff}}(B—V)$ и по нормальным показателям цвета $(B—V)_0 = (B—V) - E_{B—V}$ была определена температура. Для межзвездного покраснения HR Del мы приняли значение $E_{B—V} = 0^m,06$, определенное М а н н е р и (1970). Эта величина находится в согласии с данными Ф и ц д ж е р а л ь д а (1968) о распределении межзвездной материи. По рис. 5 указанной работы в направлении HR Del ($l^{\text{II}} = 63^{\circ},45$, $b^{\text{II}} = -13^{\circ},96$) можно оценить для расстояния ~ 400 парсек $E_y \lesssim 0^m,1$, а согласно Ш а р п л е с у (1963), $E_y \approx E_{B—V}$.

Кривая изменения определенной таким образом температуры эффективной фотосферы T_{ph} показана на рис. 1 и 2. Разброс точек около некоторой средней кривой дает представление об ошибках, обусловленных различием инструментальных систем. Естественно возникает вопрос о том, насколько правомерно определение температуры новой звезды на основании калибровки

для нормальных звезд. Оно будет безупречным, если распределение энергии в континууме Новой не отличается от распределения энергии в непрерывном спектре нормальных звезд соответствующих спектральных классов и если в спектре нет эмиссионных линий.

Распределение энергии в непрерывном спектре HR Del с 31 июля по 9 августа 1967 г. определяли Лендерман и Пугач (1970). До 5 августа наблюдался ультрафиолетовый избыток, которого уже не было 7—9 августа. Согласно Вошику и др. (1968), HR Del своим непрерывным спектром похожа на α Лут в предмаксимальном периоде и после максимума блеска до января 1968 г., только бальмеровский скачок у Новой менее крутой. На основании спектрофотометрических наблюдений Ямашита (1975) утверждает, что в период июль — октябрь 1967 г. непрерывный спектр HR Del похож на спектр абсолютно черного тела при температуре 8000 К, но в середине июля наблюдался ультрафиолетовый эксцесс за бальмеровским скачком. Из сказанного следует, что по крайней мере в предмаксимальной стадии HR Del распределение энергии в непрерывном спектре не может внести больших ошибок в определение температуры эффективной фотосферы на основании показателя цвета ($B-V$).

Эмиссионные линии наблюдались в спектре Новой с самого момента открытия и имели переменную интенсивность в зависимости от активности звезды. К сожалению, мы не располагаем необходимыми наблюдательными данными, чтобы определить поток излучения в линиях и учесть его влияние на наблюдаемые цвета звезды. Тем не менее мы сделали грубую оценку ошибок в определении температуры, вызванных эмиссией в линиях. При этом мы используем данные о кривых пропускания полос B и V (Страйжис, 1971). В полосе V нет водородных линий, у которых наблюдалась самая сильная эмиссия. В полосе B попадают H_δ и H_γ , а также H_ϵ и H_β в „крыльях“. Предполагая, что эмиссии линий других элементов приблизительно одинаково повышают поток излучения в обеих полосах и не могут искажать показатель цвета, мы измерили эквивалентные ширины водородных линий в полосе B и оценили относительное повышение потока в ней из-за эмиссий, а отсюда — понижение показателя цвета ($B-V$) и завышение оценки температуры. Результаты показали, что в июле — августе 1967 г. температура эффективной фотосферы может быть завышена на 200—300°, в сентябре и до максимума блеска — на 100°, а после максимума блеска (февраль — май 1968 г.) — 400—500°. Из рис. 1 и 2 видно, что эти ошибки порядка разброса точек около средней кривой изменения температуры T_{ph} .

Расстояние до HR Del определялось многими авторами. Их результаты обсуждаются в статье Малакпура (1975). Мы определили расстояние до Новой по эквивалентной ширине К-линии межзвездного кальция и получили $r=417 \pm 26$ парсек. Этот результат хорошо совпадает со значениями расстояния, полученными Хатчингсом (1970) и Антиповой (1977).

С полученным значением расстояния мы определили абсолютную звездную величину Новой в максимуме блеска по формуле

$$(1) \quad M_V = (m_V - A_V) + 5 - 5 \log r,$$

где

$$(2) \quad A_V = 3,2 E_{B-V}$$

согласно Шмидт-Калер и Ламла (1965). При $m_V^{\max} = 3,30$ была получена $M_V^{\max} = -5,0$. Абсолютная величина HR Del в спокойном состоянии (предновой) была определена, принимая среднее значение ее видимой вели-

чины $m_V=12,3$ (Барнес, Эванс, 1970). Было получено $M_V=+4,0$. Амплитуда блеска при вспышке составляет $9^m,0$ в лучах V .

По своей абсолютной величине и показателю цвета $B-V=-0^m,19$ (Барнес, Эванс, 1970) предновая HR Del попадает в область „голубых

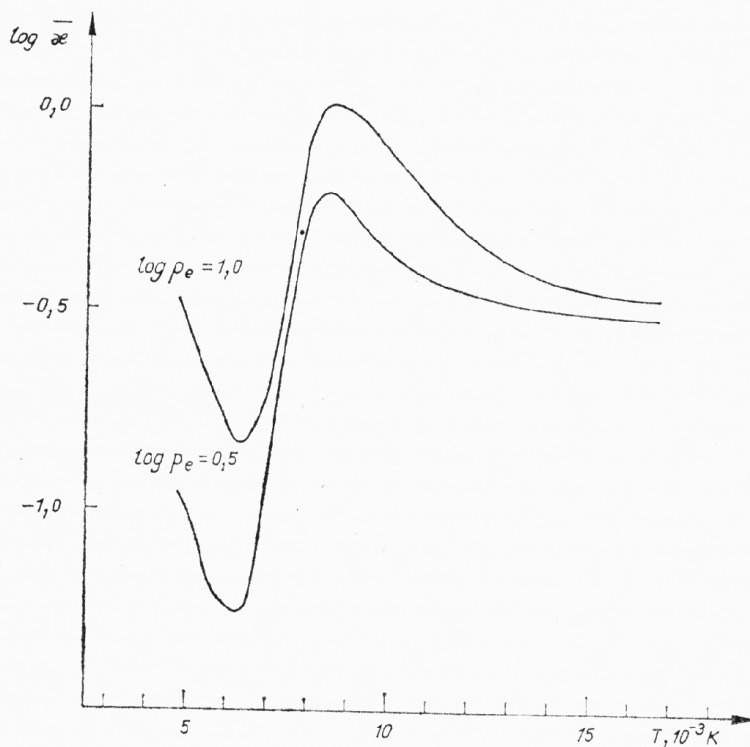


Рис. 3. Зависимость среднего коэффициента непрерывного поглощения $\bar{\kappa}$, рассчитанного на грамм звездной материи, от эффективной температуры при двух значениях электронного давления p_e [по работе Витенсе (1951)]

карликов“ (Арп, 1962) или, согласно терминологии Воронцова-Вельяминова (1962), в область бело-глубой последовательности, где все звезды неустойчивые.

С болометрическими поправками, взятыми из упомянутой работы Гарриса (1963) в соответствии с нормальными показателями цвета $(B-V)_0$, были получены болометрические звездные величины M_{bol} и отсюда по формуле (Шмидт-Калер, Ламла, 1965)

$$(3) \quad \log R_{ph}/R_{\odot} = -0,2 M_{bol} - 2 \log T_{ph} + 8,46$$

— значения радиуса эффективной фотосферы Новой. Кривая изменения радиуса эффективной фотосферы R_{ph} показана на рис. 1 и 2.

Определение температуры и радиуса эффективной фотосферы указанным выше способом можно считать правомерным до наступления небулярной стадии, пока основной поток излучается в непрерывном спектре.

Из рис. 1 и 2 видно, что максимум блеска 13 декабря 1967 г. и вторичный максимум в начале мая 1968 г. обусловлены увеличением радиуса эффективной фотосферы; температура в максимумах блеска имела минимумы.

По данным об изменении R_{ph} при подъеме блеска в период 5—12 декабря 1967 г. (рис. 1) можно определить скорость расширения эффективной фотосферы Новой. Она составляет около 23 км/с. С другой стороны, на спектре, полученном 6 декабря 1967 г., по самой интенсивной компоненте линий поглощения была измерена радиальная скорость $v \sim 280$ км/с. Это, по-видимому, есть скорость, с которой выбрасывался газ главной оболочки. Видно, что скорость расширения эффективной фотосферы более чем на порядок меньше скорости удаления газа от звезды.

Во время подъема блеска оптически толстая главная оболочка удаляется от звезды. Она излучает непрерывный спектр, а линии поглощения образуются в ее самых внешних слоях. При удалении от звезды газ расширяется. Это приводит к понижению его температуры, тем более, что он вместе с тем и высвечивается. При низких электронных давлениях, каких можно ожидать в оболочках новых (Райкова, 1977; Антипова, 1977), коэффициент непрерывного поглощения (рассчитанный на грамм звездной материи) сильно зависит от температуры в диапазоне 6500—8000 К (см. рис. 3). При охлаждении газа с удалением от звезды он должен уменьшаться. Объемный коэффициент поглощения $\bar{\alpha} = \bar{\rho} \kappa$ еще быстрее уменьшается с удалением газа от звезды из-за уменьшения плотности ($\rho \sim 1/R^2 v$). Вследствие этого внешние слои расширяющейся оболочки становятся прозрачными в континууме, и уровень эффективной фотосферы (где оптическая глубина $\tau \approx 1$) сдвигается внутрь в системе отсчета, связанной с оболочкой. В наблюдениях это проявляется именно как медленное расширение эффективной фотосферы по сравнению со скоростью газа оболочки при подъеме блеска к максимуму.

Литература

- Абуладзе, О. П. 1968. Астрон. циркуляр, № 471.
 Абуладзе, О. П. 1969. Астрон. циркуляр, № 500.
 Антипова, Л. И. 1977. Астрон. журнал, **54**, 68.
 Арп, Х. К. 1962. Происхождение и эволюция звезд. Под ред. А. Г. Масевич. М., 13.
 Ашбрук, Робинсон (Ashbrook, J., L. J. Robinson). 1968. Circ. IAU, No 2047.
 Барнес и др. (Barnes, T., S. van den Bergh, G. Hagen, P. Jackson, R. Racine, N. Remage, V. Watt). 1967. Journal R. A. S. Can., **61**, 339.
 Барнес, Эванс (Barnes, T., N. R. Evans). 1970. P. A. S. P., **82**, 889.
 Барокас (Barocas, V.). 1968. Circ. IAU, No 2052.
 Бартолини и др. (Bartolini, C., P. Battistini, C. Delli Ponti, A. Guarneri). 1969. Mem. Soc. Astr. Ital., **40**, 127.
 Витенсе (Vitense, E.). 1951. Zeit. für Astroph., **28**, 81.
 Воронцов-Вельяминов, Б. А. 1962. Курс астрофизики и звездной астрономии. Т. II. Под ред. А. Михайлова. М., 250.
 Вошик и др. (Woszczyk, A., J. Smoliński, N. Maron, A. Strobel, J. Kremenec). 1968. Astrophys. Space Sci., **1**, 264.
 Гаррис (Harris, III D. L.) 1963. Basic Astronomical Data, ed. K. Strandt, Univ. of Chicago Press, 263.
 Гингерих (Gingerich, O.). 1967. Circ. IAU, No 2025.
 Глебоцки (Głębocki, R.). 1970. Acta Astr., **20**, 99.
 Григар и др. (Grygar, J., L. Kohoutek, P. Harmanek). 1968. Bull. Astr. Inst. Českosl., **19**, 101.
 Григар, Кохоутек (Grygar, J., L. Kohoutek). 1969. Bull. Astr. Inst. Českosl., **20**, 156.
 Икауниекс, Я. И. 1967. Астрон. циркуляр, № 455.
 Калиш (Kalish, L.). 1968a. Circ. IAU, No 2049.
 Калиш (Kalish, L.). 1968b. Circ. IAU, No 2088.

- Канда (Kanda, S.). 1967a. *Circ. IAU*, No 2030.
 Канда (Kanda, S.). 1976b. *Circ. IAU*, No 2034.
 Колесник, Л. Н. 1970. *Астрон. циркуляр*, № 562.
 Коннел О' (Connell, O' D. J. K.). 1968. *Comm. 27 IAU Int. Bull. Var. Stars*, No 313.
 Кремпец (Krempec, J.). 1970. *Acta Astr.*, 20, 267.
 Кэнди (Candy, M. P.). 1967. *Circ. IAU*, No 2022.
 Ланге (Lange, H. A.). 1970. *Journal R. A. S. Can.*, 64, 311.
 Лендерман, Е. И., А. Ф. Пугач. 1970. *Астрометрия и астрофизика*, межвед. сб., 9, 42.
 Лиллер (Liller, W.). 1967. *Circ. IAU*, No 2024.
 Лочер (Locher, K.). 1968. *Circ. IAU*, No 2088.
 Майол (Mayall, M.). 1968. *Circ. IAU*, No 2051.
 Майол (Mayall, M.). 1969. *Rev. Pop. Astr.*, 63, 24.
 Малакпур (Malakpur, I.). 1975. *Astrophys. Space Sci.*, 38, 403.
 Маннери (Mannery, E. J.). 1970. *P. A. S. P.*, 82, 487.
 Марсден (Marsden, B.). 1967. *Circ. IAU*, No 2044.
 Моллерус (Mollerus, B.). 1969. *Astron. Astrophys.*, 3, 376.
 Нха (Nha, Il-Seong). 1967. *Comm. 27 IAU Int. Bull. Var. Stars*, No 238.
 Омаров, С. З., М. С. Гаджиев. 1970. *Перем. звезды*, 17, 434.
 Ондерличка, Ветешник (Onderlička, B., M. Vetešník). 1968. *Bull. Astr. Inst. Českosl.*, 19, 99.
 Пэйн-Гапошкина (Payne-Gaposchkin, C.). 1957. *The Galactic Novae*, North-Holland Publ. Co., Amsterdam.
 Райкова, Д. 1977. *Астрон. журнал*, 54, 55.
 Соломон (Solomon, L.). 1967a. *Circ. IAU*, No 2030.
 Соломон (Solomon L.). 1967b. *Circ. IAU*, No 2036.
 Стокс (Stokes, A. J.). 1967a. *Comm. 27 IAU Int. Bull. Var. Stars*, No 224.
 Стокс (Stokes, A. J.). 1967b. *Comm. 27 IAU Int. Bull. Var. Stars*, No 226.
 Стокс (Stokes, A. J.). 1967c. *Comm. 27 IAU Int. Bull. Var. Stars*, No 238.
 Страйжис, В. Л. 1971. *Методы исследования переменных звезд*. Под ред. В. Никонова. М., 225.
 Темпести (Tempesti, P.). 1968a. *Circ. IAU*, No 2047.
 Темпести (Tempesti, P.). 1968b. *Circ. IAU*, No 2066.
 Темпести (Tempesti, P.). 1968c. *Circ. IAU*, No 2090.
 Терзан (Terzan, A.). 1968. *Journal des Obs.*, 51, 329.
 Терзан (Terzan, A.). 1970. *Astron. Astrophys.*, 5, 167.
 Терзан и др. (Terzan, A., M. Bally, A. Durand). 1974. *Astron. Astrophys.*, Suppl., 15, 107.
 Уильямс (Williams, R. C.). 1968. *Circ. IAU*, No 2049.
 Уолерстейн (Wallerstein, G.). 1968. *Observatory*, 88, 111.
 Фицджеральд (Fitzgerald, M. P.). 1968. *Astron. J.*, 73, 983.
 Хатчингс (Hutchings, J. B.). 1970. *Publ. Domin. Astrophys. Obs. Victoria*, 13, 347.
 Хил (Hill, P. W.). 1968a. *Circ. IAU*, No 2047.
 Хил (Hill, P. W.). 1968b. *Circ. IAU*, No 2052.
 Шао (Shao, C. Y.). 1967. *Circ. IAU*, No 2045.
 Шарплес (Sharpless, S.). 1963. *Basic Astronomical Data*, ed. K. Strand, Univ. of Chicago Press, 225.
 Шмидт-Калер, Ламла (Schmidt-Kaler, Th., E. Lamla). 1965. *Landold-Börnstein*, vol. I, *Astronomy and Astrophysics*, ed. H. Voigt, Springer-Verlag, 284.
 Шпычка, И. В. 1968. *Астрон. циркуляр*, № 471.
 Ямашита (Yamashita, Y.). 1975. *Ann. Tokyo Astr. Obs.*, Second Ser., 15, 1.

Photometric Behaviour and General Characteristics of the Nova HR Delphini

D. Raikova

(Summary)

The light curve and the colour index B-V curve of HR Del have been constructed by using the observations in the UBV system published. From the normal colour indexes the effective photosphere temperature and radius have been found on the basis of calibrations for normal stars. The errors in the temperature values have been estimated to be 100-500°, depending on the emission line intensities.

When the brightness was increasing to the maximum, the effective photosphere was expanding with a velocity about 23 km/s, which is over 10 times lower than gas velocity. This fact is explained by the decrease of the continuous opacity when the ejected gas expands.

Key words: HR Delphini — novae expansion.

*Секция астрономии с Национальной
астрономической обсерваторией,
Болгарская академия наук*

Поступила 21. VI. 1978 г.