

Наблюдаемая в настоящее время низкая активность длится уже порядка 1100 дней, так как последнее активное состояние было в 1983 году. На рисунке 1 приводится кривая среднего блеска за 1984–86 годы. Используются также данные из работ Гётца (1986а, 1986б).

Наблюдения 1986 года показывают возможное начало повышения активности. Если в ближайшее время AM Her выйдет в активное состояние, крайне интересно было бы сравнить ее фотометрическое поведение с наблюдавшимся до длительного спада активности.

#### Литература.

Андронов и др., 1980— Андронов И.Л., Васильева С.В., Цесевич В.П., АИ № 1122.

Гётц, 1986а— Götz W., IBVS No. 2851.

Гётц, 1986б— Götz W., IBVS No. 2967.

Смыков В.П., Шакун Л.И., 1986, АИ № 1461, 3.

Фейгельсон и др., 1978—Feigelson E., Dexter L., Liller W., ApJ 222, 263.

*Астрофизическая обсерватория Кишиневского государственного университета.*

#### Анализ изменений блеска V 616 Единорога (A 0620—00) во время вспышки 1975–76 годов.

Н.Е. Курочкин\*, Е.А. Карицкая\*\*, Н.Г. Бочкарев\*.

Analysis of V 616 Monocerotis/A 0620—00 brightness variation during the 1975–76 outburst, by N.E. Kurochkin, E.A. Karitskaya and N.G. Bochkarev.

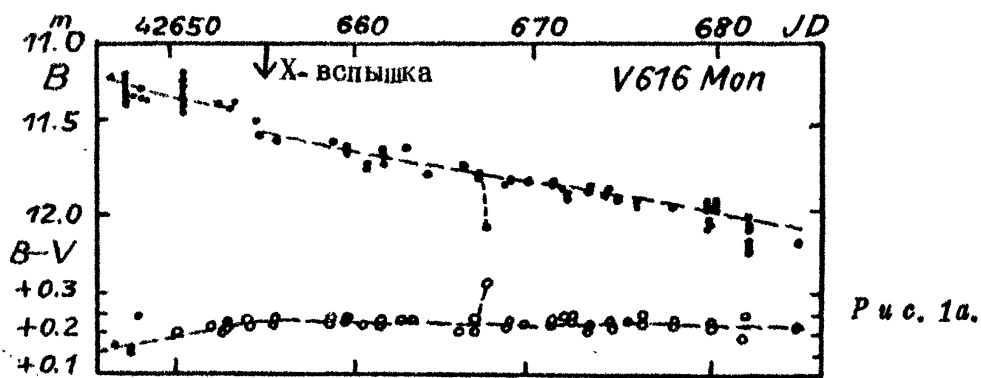
#### I. Введение.

A 0620—00 — рентгеновская и оптическая Новая (вспышки 1917 и 1975 г.), кандидат в черные дыры (Мак-Клинтон и Ремиллард, 1986, Карицкая и Бочкарев, 1987). Орбитальный период  $P_{\text{orb}} = 7^{\text{h}}.8$ . В спокойном состоянии кривая блеска формируется эффектами эллипсоидальности звезды класса K4–7V, заполняющей  $\mu = 0.85$  полости Роша, находящейся в поле тяжести объекта с массой  $M_X \sim 4.5 M_\odot$  на расстоянии  $a = 4 \cdot 10^{11}$  см от центра звезды, и частными затмениями темными внешними частями аккреционного диска (переменного радиуса  $R_d \sim 1.3 \cdot 10^{11}$  см). Угол наклона системы  $i \approx 77^\circ$ . В максимуме вспышки 1975 г. V 616 Mon достигала  $B = 11^{\text{m}}.2$ ,  $L_X = 1.3 \cdot 10^{38}$  эрг/с (при  $d = 1$  кпк (Элвис и др., 1975)).

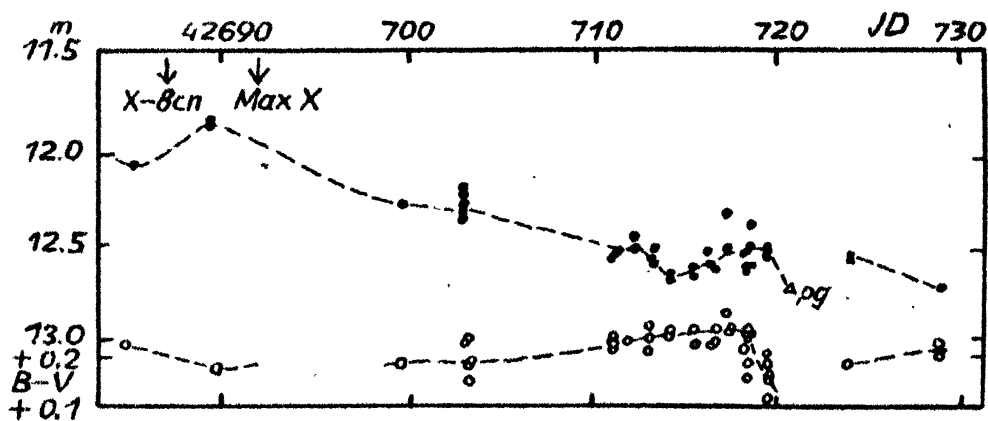
#### II. Анализ наблюдений.

1. По фотоэлектрическим наблюдениям 1975–76 годов (по сводке Веббинка, 1978) построена сводная кривая блеска V 616 Mon на спаде блеска после максимума авг. 1975 г. (рис. 1).

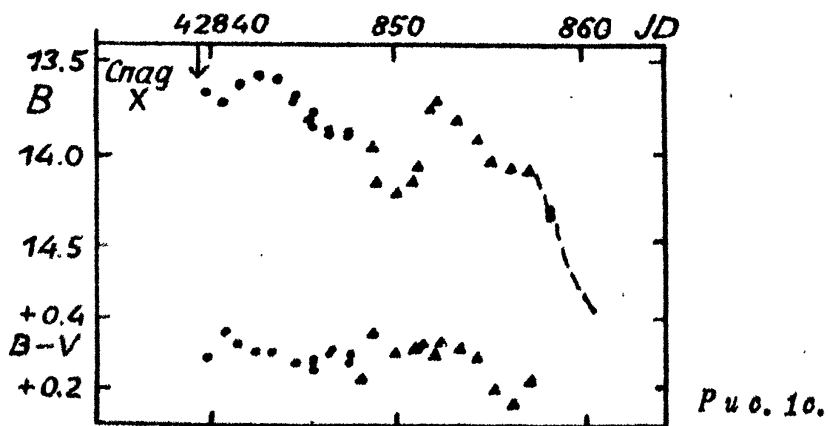
2. Спад блеска (на некоторых участках — линейный в шкале звездных величин) происходил с задержками и локальными максимумами, которые обычно соответствовали вспышкам в рентгеновском диапазоне (вблизи JD 2442655 и 42686), когда наблюдалось также поглубение (уменьшение  $(B - V)$ ).



Р и с. 1а.



Р и с. 1б.



Р и с. 1в.

Р и с. 1. Сводная кривая блеска и цвета V616 Мон на спаде вспышки 1975-76 годов (по фотоэлектрическим наблюдениям).

3. После JD 2442717–720, когда в рентгеновском и оптическом излучении наблюдалась особенность, начались заметные вариации с периодом  $P_2 = 7^d.72$  и элементами:

$$\text{Max (B)} = 2442650.6 + 7^d.72 \cdot E. \quad (1)$$

По аномальным максимумам блеска эти вариации заподозрены также на ранних стадиях развития вспышки (см. табл. 1).

Таблица 1.

Таблица 2.

| Сводка максимумов с $P_2 = 7^d.72$ . |    |      | Сводка минимумов. $P_{orb} = 0^d.323014$ . |        |                      |
|--------------------------------------|----|------|--------------------------------------------|--------|----------------------|
| Max JD 24...                         | E  | O–C  | Min JD 24...                               | E      | O–C                  |
| 42650.6                              | 0  | 0.0  | 42647.656                                  | 3523.5 | +0 <sup>d</sup> .240 |
| 681.6                                | 4  | +0.1 | 654.900                                    | 3501   | +0.216               |
| 689.6                                | 5  | +0.4 | 655.895                                    | 3498   | +0.242               |
| 712.5                                | 8  | +0.1 | 660.894                                    | 3482.5 | +0.234               |
| 718.6                                | 9  | –1.4 | 671.877                                    | 3448.5 | +0.235               |
| 790.0                                | 18 | +0.4 | 699.606                                    | 3362.5 | +0.185               |
| 812.5                                | 21 | –0.2 | 702.557                                    | 3353.5 | +0.248               |
| 828.0                                | 23 | –0.2 | 43188.273pp                                | 1849.5 | +0.131               |
| 843.0                                | 25 | –0.6 | 192.290pp                                  | 1837   | +0.111               |
| 852.5                                | 26 | +1.2 | 785.556pp                                  | 0      | 0.000                |
| ( 857.5: )                           | 27 | –1.5 | 44910.936*                                 | 3484   | –0.001               |
|                                      |    |      | 46082.829*                                 | 7112   | –0.003               |

\*) Мак Клинтон и Ремиллард (1986)

4. На ранней стадии спада блеска, когда велись более детальные наблюдения (JD 2442646–690), выделяется орбитальный период с элементами:

$$\text{Min I} = \text{JD } 2443785.556 + 0^d.322947 \cdot E \quad (2)$$

Период близок к  $P_{orb} = 0^d.323014$ , найденному Мак Клинтонком и Ремиллардом (1986) для 1981–85 годов. Наблюдения разделены годичными пропусками, так что возможны просчеты в числе циклов. Изменение периода, если оно имело место, произошло вблизи JD 2443785, что вытекает также из фотографических наблюдений (см. п. 5). График О–С построен на основании таблицы 2, где собраны наблюдавшиеся минимумы. На графике (рис. 2) представлены разные варианты решений в случае просчета циклов.

5. 30 фотографических наблюдений, полученных в JD 2443026–45326 по пластинкам 50-см рефлектора АЗТ-5 (Южная станция ГАИШ), удовлетворяют элементам (2). Соответствующая кривая блеска дана на рис. 3, наблюдения – в таблице 3.

Таблица 3.

| JD 24...  | фаза*       | JD 24...  | фаза*       | JD 24...  | фаза*       |
|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| 43026.549 | 19.2:: .748 | 43190.357 | 19.55: .976 | 44258.329 | 19.2 .934   |
| 045.562   | 18.6 .621   | 192.290   | 19.7 .962   | 673.266   | 19.3 .779   |
| 049.584   | 18.8 .075   | 409.563   | 19.1:: .744 | 987.300   | 18.9 .160   |
| 050.534   | 19.9:: .017 | 429.585   | 19.3 .742   | 988.278   | 18.8:: .208 |
| 055.579   | 18.77 .546  | 785.556   | 20.1:: .000 | 990.267   | 18.82 .367  |
| 056.588   | 18.87 .763  | 786.592   | 18.8 .208   | 45319.455 | 18.74 .692  |
| 057.591   | 19.3 .869   | 789.561   | 18.45 .401  | 325.378   | 19.2:: .033 |
| 164.366   | 19.53: .496 | 790.564   | 19.25 .507  | 325.412   | 19.5:: .138 |
| 183.257   | 19.2:: .991 | 795.579   | 19.7 .036   | 325.447   | 19.0:: .246 |
| 188.273   | 19.75: .523 | 933.341   | 19.1 .614   | 325.484   | 19.1:: .361 |

\*) Фотографические наблюдения (система V, АЗТ-5), фазы с  $P_{orb} = 0^d.322947$ .

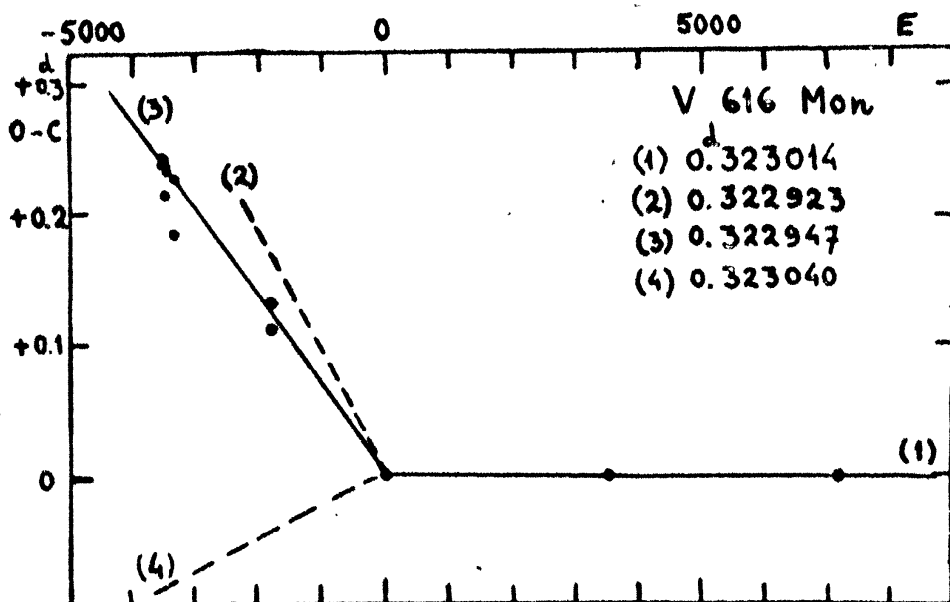


Рис. 2. График О—С от времени (Е—число циклов) для элементов Мак Кли-  
тока и Ремилларда (1986) с  $P_{орб} = 0.323014$ . Наиболее вероятна ветвь  
(3). Из-за больших пропусков в наблюдениях возможны просчеты в числе  
циклов, поэтому показаны и другие возможные решения. Для интервала  
JD 2442645–43785 более вероятен период  $P_{орб} = 0.322947$  (область  
вспышки, спада блеска и прилегающих интервалов времени).

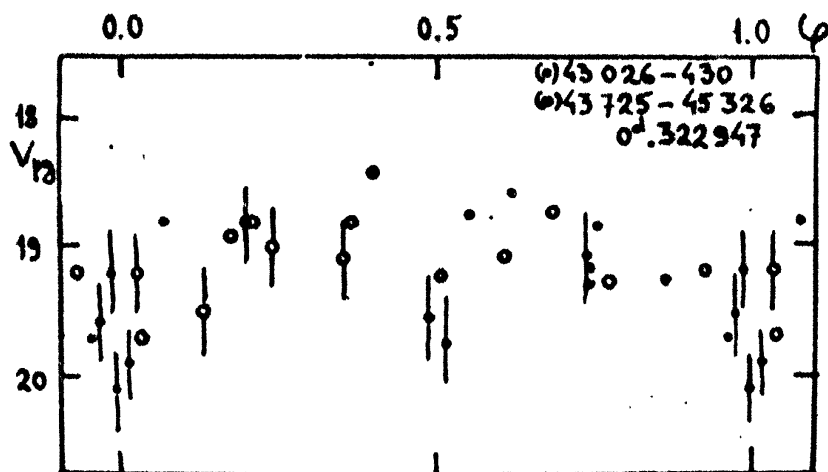


Рис. 3. Орбитальная кривая блеска, полученная в ГАИШ по фото-  
графическим наблюдениям на рефлекторе АЗТ-5 с  $P_{орб} = 0.322947$  (сис-  
тема V).

6. Кривые блеска с орбитальными элементами (2) построены по ин-  
тервалам 4–15<sup>d</sup> (рис. 4). Путем снятия тренда (спада блеска) наблюде-  
ния приведены к уровню 11.<sup>m</sup>30 (использовались только фотоэлектриче-  
ские данные). Разными значками на рис. 4 иногда отмечены наблюдения  
в разные ночи. На кривых блеска рис. 4 можно выделить два основных

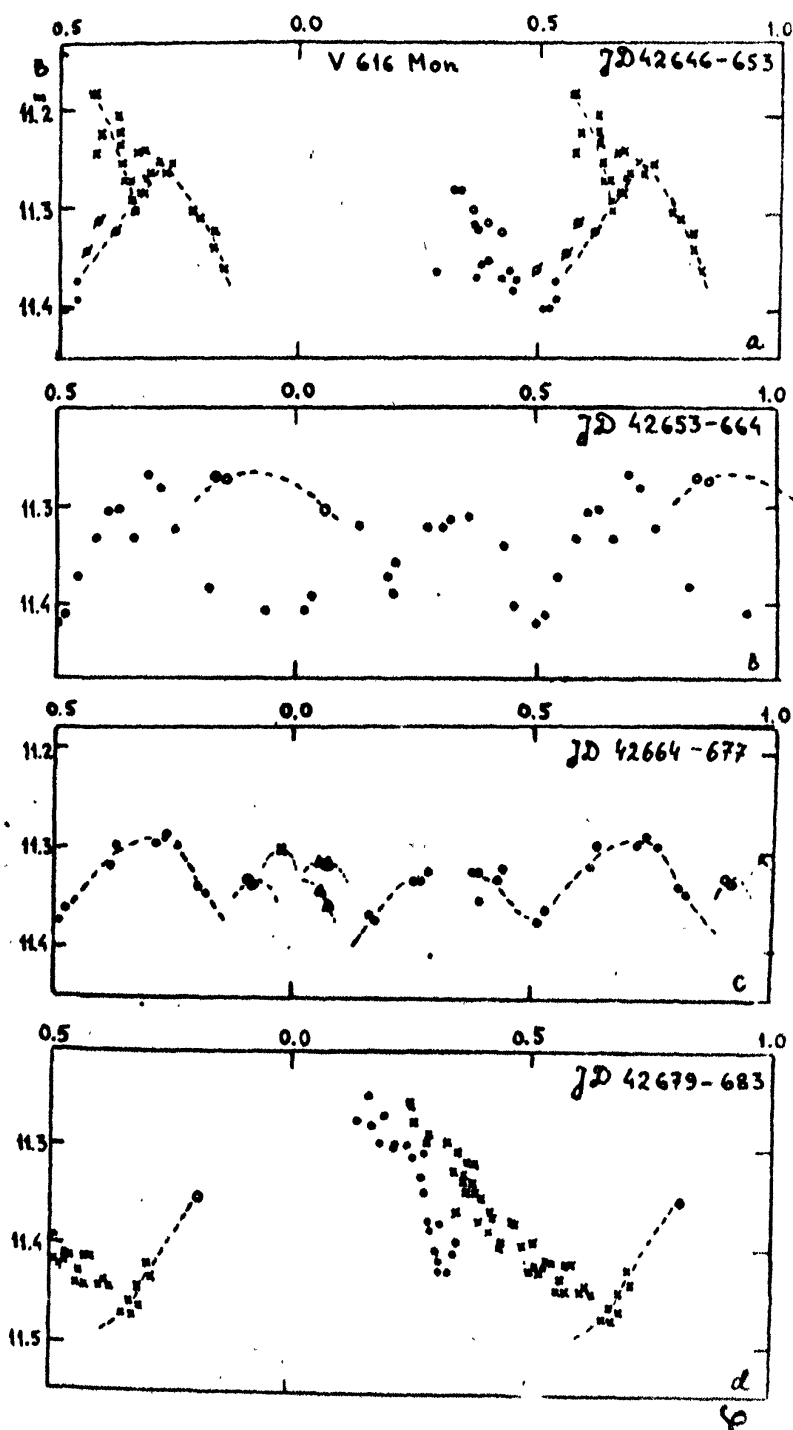


Рис. 4. Орбитальные кривые блеска для разных интервалов времени на спаде блеска. Некоторые наблюдательные ночи с большим числом наблюдений выделены особыми значками. На некоторых кривых блеска заметны аномальные максимумы (горбы), возвышающиеся над обычной кривой блеска (двойная волна с двумя минимумами).

компонента: а) основное колебание с двумя минимумами (двойная волна), которая характерна и для 1981–85 годов (Мак Клинток и Ремиллард, 1986), б) яркие горбы (аномальные максимумы), возвышающиеся над основной кривой блеска на 10–20%. Появление этих горбов на разных фазах  $\phi_{orb}$  кажется случайным (возможно из-за недостатка наблюдений). Если горб оказывается на фазах Min I или Min II, минимумы замыкаются. Яркие горбы приходятся на области максимумов волны изменений с периодом 7.72 (фаза  $P_2$   $\psi \sim 0$ ) (см. п. 3), что позволило выявить этот цикл в самом начале вспышки в августе 1975 г.

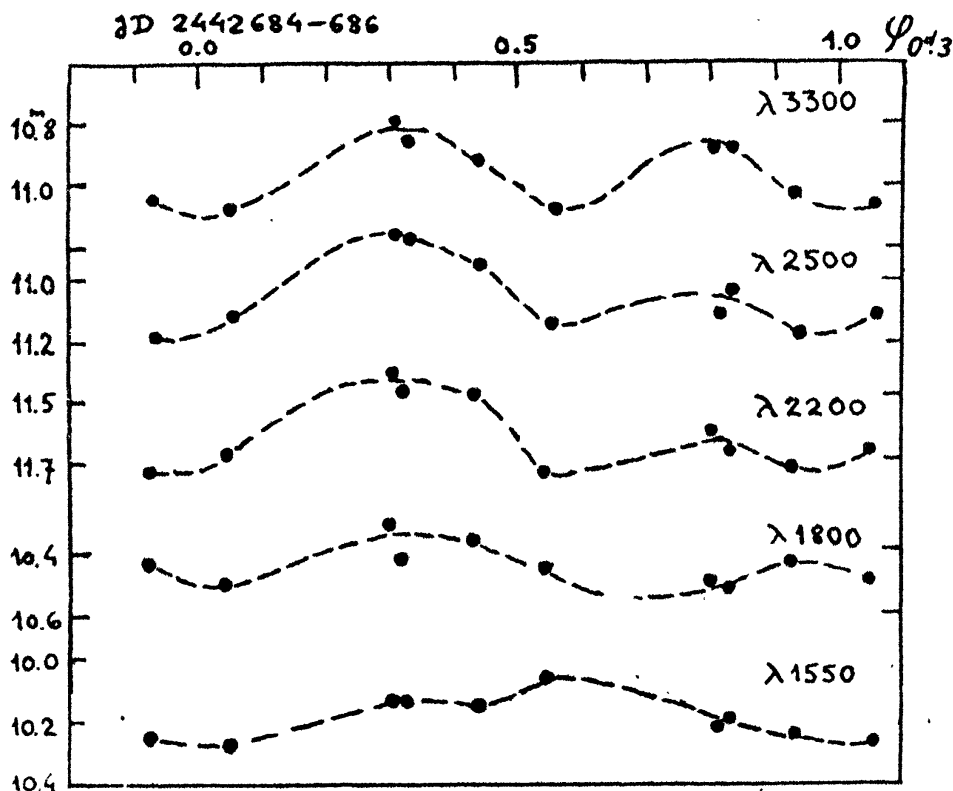


Рис. 5. Орбитальная кривая блеска для разных диапазонов в УФ по данным Ву и др. (1976) для JD 2442684–686. Заметно искажение обычной кривой блеска (двойной волны) в более коротковолновом диапазоне.

7. По данным Ву и др. (1976) для JD 2442684–686 построены кривые блеска и цвета с  $P_{orb}$  для УФ-диапазона (рис. 5). На  $\lambda 3300 \text{ \AA}$  кривая блеска имеет обычный вид двойной волны. С уменьшением  $\lambda$  от  $\lambda 3300 \text{ \AA}$  до  $\lambda 1550 \text{ \AA}$  максимум на фазе  $P_{orb} \phi \sim 0.75$  постепенно исчезает. На  $\lambda 1800 \text{ \AA}$  амплитуда вариаций уменьшена и оба максимума "затемнены". На  $\lambda 1550 \text{ \AA}$  в области Min II, возможно, появляется горб.

8. О цвете. В начале спада JD 2442646–678 цвета В – V и U – В практически не зависят от  $P_{orb}$  (рис. 6а, б). Однако, в УФ заметно присутствие высокотемпературного источника в Min I и Min II (рис. 7). По данным Ву и др. (1976) в цвете  $\lambda(1550) - (3300)$  это особенно заметно (рис. 7d). На кривой блеска в  $\lambda 1550 \text{ \AA}$  на фазах  $\phi \sim 0.5 - 0.7$ , возмож-

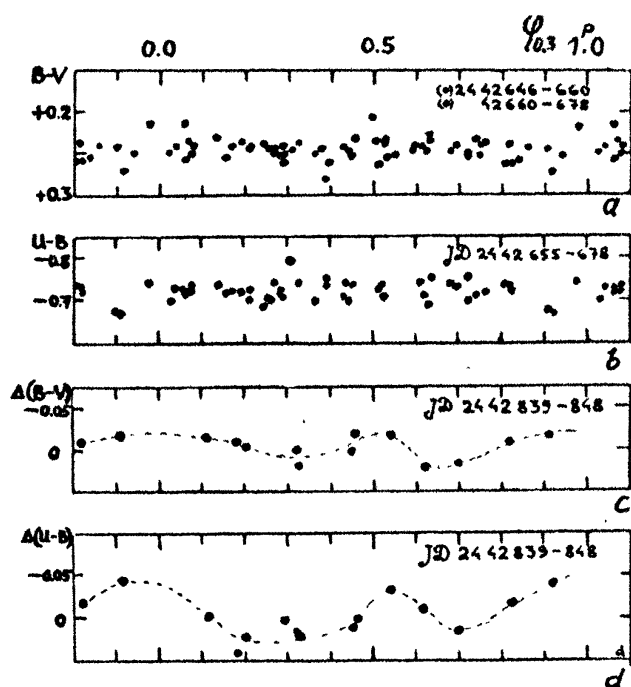
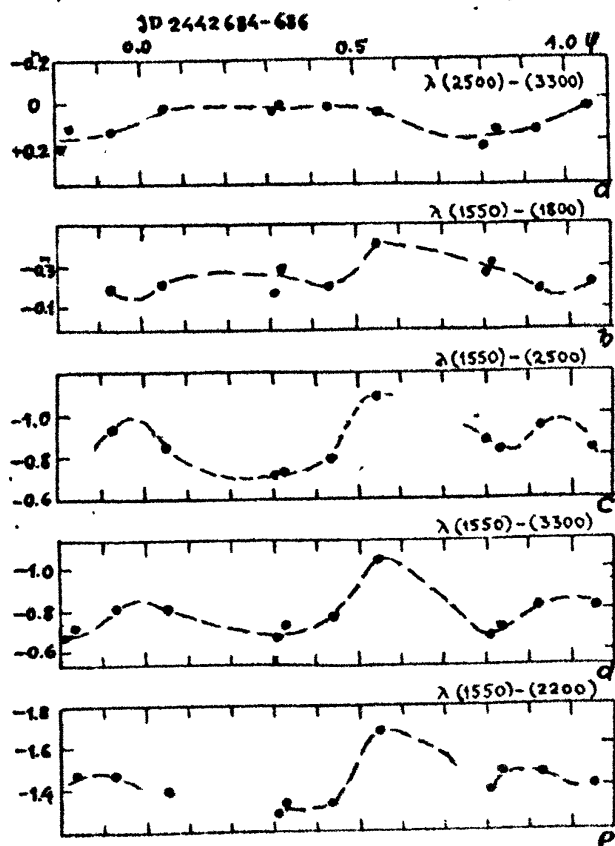


Рис. 6. Изменения цвета в зависимости от фаз  $P_{orb}=0.322947$  в начале и в конце спада блеска после вспышки.



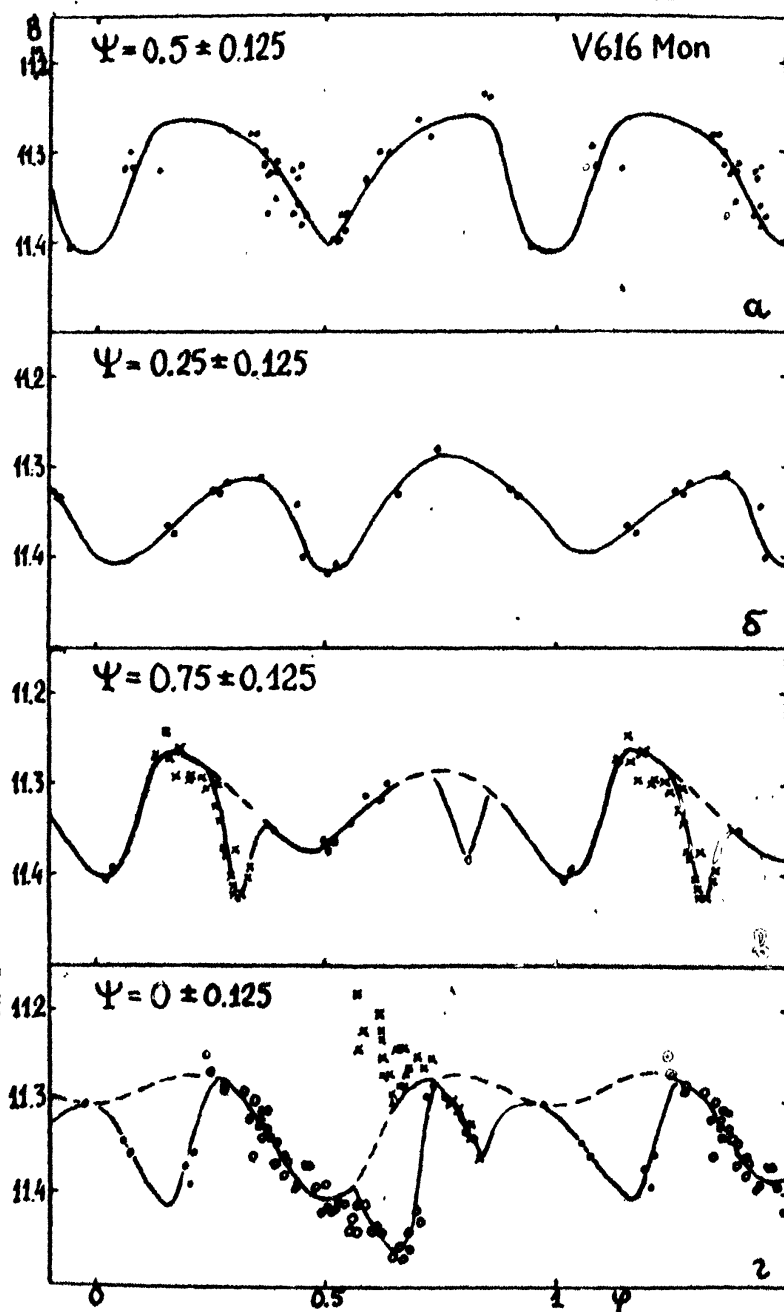
но, появляется горб, который может соответствовать этому источнику (рис. 6). Кривые цвета в УФ  $\lambda(1550)-(2500)$  также указывают на существование дополнительного излучения в области Min I и Min II, где цвет голубее, чем в максимумах при  $\phi \sim 0.25$  и  $0.75$ . Излучение горячих источников, видимо, здесь доминирует.

Кривые цвета на поздних этапах вспышки (после особенности в JD 2442717) показывают преобладание голубого излучения в Min I и Min II, что указывает на возрастающую роль высокотемпературного источника по мере спада блеска (см. рис. 7c,d по данным Шевалье и др., 1980).

### III. Интерпретация.

1. В максимуме вспышки рентгеновский спектр двухкомпонентный с преобладанием мягкой составляющей ( $kT \approx 1$  кэВ, Карпентер и др., 1976) — излучения оптически тонкого газа, спектр которого продолжался до ИК-диапазона (Оук, Гринстейн, 1977, Бочкарев, Карицкая, 1979а,б). Размер этой области  $r \approx 10^9$  см  $\ll R_d$  (Амнуэль, Гусейнов, 1976, Бочкарев, Карицкая, 1979б). Рентгеновских затмений не наблюдалось. Поэтому оптически

Рис. 7. Зависимость цветов в УФ от фазы  $P_{orb}$  по данным Ву и др. (1976) для JD 2442684-686.



Р и с . 8. Орбитальные кривые блеска, разложенные по фазам  $\psi$  периода 7.<sup>d</sup>72 (см. (1)).

тонкий газ не участвовал в формировании кривой блеска с  $P_{orb}$ , хотя мог давать большой вклад в оптическое излучение ( $L_{opt}$ ). Вариации ИК-потока указывают, что данный компонент был переменен и мог влиять на изменения цветов системы, например, вблизи JD 2442715.

Кривая блеска с  $P_{orb}$  формировалась излучением аккреционного диска и горячего пятна на К-звезде, нагретых рентгеном.

2. При изотропной индикатрисе рентгеновского излучения и полной переработке падающего потока, излучение аккреционного диска и пятна должны составлять  $\approx 3/4$  и  $\approx 1/4$  максимального  $L_{opt}$  соответственно.

В максимуме температура внешних частей диска:

$$T_d \approx 3.5 \cdot 10^4 \left( \frac{L_x}{10^{38}} \right)^{2/7} \left( \frac{10^{11} \text{ см}}{R_d} \right)^{3/7} \left( \frac{5 M_\odot}{M_x} \right)^{1/7} \approx 3.4 \cdot 10^4 \text{ К}, \quad (3)$$

а для момента УФ наблюдений Ву и др. (1976)  $T_d \approx 2.4 \cdot 10^4 \text{ К}$  в согласии с наблюдаемой  $T = 2.8 \cdot 10^4 \text{ К}$ . Для горячего пятна на К-звезде в максимуме  $T = 4.2 \cdot 10^4 \text{ К}$ .

3. Оптические светимости аккреционного диска и пятна на звезде должны меняться как  $L_{opt} \sim L_x^{2\beta/7} \approx L_x^{0.43}$  и  $L_x^{\beta/4} \approx L_x^{0.38}$  соответственно. ( $\beta = d \ln B_\nu(T) / d \ln T \approx 1.5$ ,  $B_\nu$  — интенсивность излучения). То есть шкала времени падения  $L_{opt}$  в 2.5 раза больше, чем для  $L_x$ , что согласуется с наблюдениями ( $t_{eO} = 63^d$ ,  $t_{eX} = 27^d$ , Элвис и др., 1975). При вспышках также изменения  $L_{opt}$  составляют  $\sim 40\%$  изменений  $L_x$  (см., например, начало октября 1975 г.).

4. Орбитальная кривая блеска формировалась взаимными затмениями звезды и диска (глубина  $\sim 0.1 - 0.15$ , ширина  $\sim 0.2$ ) и эффектом отражения ( $\sim 0.25$ ).

5.  $P_2 = 7.72$ , обнаруженный по рентгеновским и оптическим данным  $\sim 24$  раза длиннее  $P_{orb}$  и может быть связан с прецессией аккреционного диска. Яркие горбы (см. п. II.6) наблюдались в фазах  $\psi \sim 0$  и 0.5 периода  $P_2$ , причем при  $\psi = 0.5$  лишь около  $\phi = 0$ . Это соответствует переизлучению аккреционным диском и горячим пятном флуктуаций рентгеновского потока.

6. На рис. 8 данные с рис. 4 разложены по фазам  $\psi$  периода  $P_2$ . Наблюдения скудны, но не противоречат представлению о прецессии диска. При  $\psi = 0.5$  (плоскость диска повернута от наблюдателя) эффект отражения усилен. Он образует максимум при  $\phi = 0$  (оптическая звезда сзади), на который накладывается частное затмение звезды. При  $\psi = 0.25$  и 0.75 около квадратур наблюдаются максимумы неравной высоты. Соотношение высот этих максимумов (рис. 8б,в) говорит в пользу того, что прецессия идет в сторону орбитального движения, хотя данные крайне неуверенные. При  $\psi = 0$  эффект отражения менее выражен, видно частное затмение диска при  $\phi = 0.5$ . При  $\psi = 0$  рентгеновские флуктуации сильнее отражаются в оптике из-за переизлучения на диске и образуются горбы на кривой блеска. Это вызывает различие в блеске при JD 2442650.6 и 42681.6 (на рис. 8г — кресты и кружочки).

7. Провалы на кривой блеска около  $\phi = 0.32$ , 0.65 и 0.15, 0.8, вероятно, вызваны затмениями веществом, скопившимся в точках либрации.

диск должен затмеваться при  $\phi = 0.33, 0.67$ , а звезда — при  $\phi = 0.17, 0.83$ .

8. Из-за перехода из рэлей-джинсовской части спектра в виновскую по мере уменьшения температуры диска (в  $\sim 3$  раза) возрастает роль излучения более горячих центральных частей диска, поэтому в моменты затмений его внешних частей цвет становится более голубым (см. рис. 6с, d).

#### IV. Выводы.

1. Найдены вариации блеска V 616 Mon с орбитальным периодом  $P_{\text{орб}} = 0.^{\text{d}}322947$  на спаде блеска после вспышки в августе 1975 г. (в интервале JD 2442646—42685). Период оказался короче современного на  $6.7 \cdot 10^{-5}$  дня. Наблюдения, полученные по фотографиям на рефлекторе АЗТ-5 в 1976—78 годах, подтверждают найденный период. Кривая блеска с  $P_{\text{орб}}$  имеет два максимума и два минимума (двойная волна), как и по современным наблюдениям в нормальном блеске.

2. Период  $P_2 = 7.^{\text{d}}72$  проявлялся в разной форме на всем участке падения блеска.

3. Фотометрическое поведение V 616 Mon на спаде блеска в общем коррелировано с рентгеновскими событиями. Увеличению рентгеновского потока обычно соответствовало поярчение блеска и поглубление цвета. Заметна некоторая коррелированность оптических колебаний с рентгеновской кривой блеска в периоде  $7.^{\text{d}}7$ .

4. Общий спад блеска связан в основном с переизлучением ослабляющего рентгеновского потока на аккреционном диске и звезде. Проведенные расчеты согласуются с наблюдаемым уровнем блеска, скоростью его падения и температурой оптического источника излучения.

5. Расчеты показывают, что основными механизмами, формировавшими кривую блеска с  $P_{\text{орб}}$ , являются эффект отражения на звезде  $\sim 0.^{\text{m}}2$  и взаимные частные затмения звезды и диска ( $\sim 0.^{\text{m}}1$ ).

6. На орбитальную кривую блеска могут накладываться отдельные горбы (аномальные локальные максимумы) и провалы. Горбы наблюдаются на разных орбитальных фазах  $\phi$  при фазе  $\psi = 0$  (связаны с рентгеновскими вспышками, отраженными на диске) и при  $\phi = 0, \psi = 0.5$  (отражение рентгеновских вспышек на звезде).

Провалы могут быть связаны с затмениями накопленным вблизи точек либрации веществом или сгустками на краю диска.

7. Возможные вариации орбитальных кривых блеска с периодом  $P_2$  на спаде вспышки 1975 г. согласуются с моделью прецессирующего диска.

8. Цвет голубее в минимумах блеска  $P_{\text{орб}}$ , что связано с возрастанием роли излучения более горячих внутренних центральных частей диска. В УФ диапазоне излучение более горячих источников (пятен?) становится доминирующим.

#### Литература.

- Амнуэль П.Р., Гусейнов О.Х., 1976, Письма в АЖ 2, 392.  
 Бочкарев Н.Г., Карицкая Е.А., 1979а, АИ № 1035.  
 Бочкарев Н.Г., Карицкая Е.А., 1979б, Письма в АЖ 5, 595.  
 Веббинк, 1978 — Webbink R.F., Illinois Univ. preprint, 1978 February.

- Ву и др., 1976—Wu C.-C., Aalders J.W.C., van Duinen R.J., Kester D., Wesselius P.R., *Astron. and Astrophys.* **50**, 445.
- Елвис и др., 1975—Elvis M., Page C.G., Pounds K.A., Ricketts M.J., Turner M.J.L., *Nature* **257**, 656.
- Карицкая Е.А., Бочкарев Н.Г., 1987, АИ № 1477, 1–3. См. также доклад на этой конференции.
- Карпентер и др., 1976—Carpenter J.F., Eyles C.J., Scinner G.K., Willmore A.P., Wilson A.M., *MN* **176**, 397.
- Лютый В.М., Шугаров С.Ю., 1979, Письма в АЖ **5**, № 4, 191.
- Мак-Клинток и Ремиллард, 1986—McClintock J.E., Remillard R.A., *ApJ* **308**, 110.
- Матильский и др., 1976—Matilsky T., Bradt N.V., Buff J., Clark G.W., Jernigan J.G., Joss P.C., Laufer B., McClintock J., *ApJ* **210**, L127.
- Оук и Гринстейн, 1977—Oke J.B., Greenstein J.L., *ApJ* **211**, 872.
- Шевалье и др., 1980—Chevalier C., Janot-Pacheco E., Mauder H., Illovaisky S.A., *Astron. and Astrophys.* **81**, 368.
- Шугаров С.Ю., 1976, ПЗ **20**, 251.

An analysis of V 616 Mon photoelectric observations during the decline of the 1975 outburst has made it possible to discriminate the brightness variations with the orbital period of  $P_{\text{orb}} = 0^{\text{d}}.322947$  which is close to the present-day value. The period  $P_b = 7^{\text{d}}.72$  was probably present throughout the time intervals when the brightness was falling down.

The brightness decrease results mainly from reradiation of the dropping X-ray flux by the accretion disk and the star. The light curve with  $P_{\text{orb}}$  is mainly the result of the X ray flux reradiation by the star and of the mutual eclipses of the star and the disk.

Probably, the variations of the orbital light curves with  $P_b = 7^{\text{d}}.72$  in the early phases of the brightness decrease agree with the model of the accretion disk which is oblique and precessing with this period.

\*) Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга

\*\*) Астрономический Совет АН СССР.

### Параметры рентгеновской системы A 0620–00 = V 616 Mon.

Е.А. Карицкая, Н.Г. Бочкарев.

Parameters of X ray binary system A 0620–00 = V 616 Mon, by E.A. Karitskaya and N.G. Bochkaev.

Получены области допустимых значений параметров рентгеновской Новой V 616 Mon = A 0620–00<sup>1</sup> (см. рис.). Для этого использованы средние орбитальные кривые блеска в V и I ( $\lambda_{\text{эф}} = 9000 \text{ \AA}$ ) и кривая лучевых скоростей, полученные в работе Мак-Клинтока и Ремилларда<sup>2</sup>. Оптическая кривая блеска в спокойном состоянии формируется эффектом эллипсоидальности К-карлика и его частными затмениями темными внешними частями аккреционного диска переменного радиуса.

Основные выводы: второй компонент имеет массу  $3 M_{\odot} \leq M_X \leq 5.5 M_{\odot}$ , что подтверждает возможное существование черной дыры в этой системе, радиус аккреционного диска переменен и часто заполняет свою